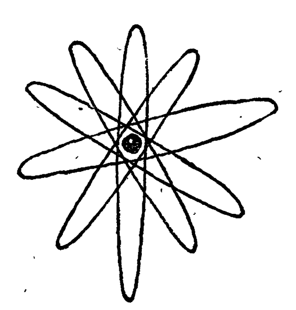

Эврика
В. Черногорова
ЗАГАДКИ МИКРОМИРА

В. Черногорова





ЗАГАДКИ МИКРОМИРА

Москва
«Молодая гвардия»
1973

Ч $\frac{062}{078(02)-73}$ 119—73

МИР, КОТОРЫЙ НЕЛЬЗЯ УВИДЕТЬ

...Правит природа вещами посредством тел незримых.

Лукреций Кар

Новый лидер

Чудаки украшают жизнь. Мир бы выглядел весьма бледно, не будь у него чудаков, этих вечно ненасытных, ужасно беспокойных, необыкновенно пытливых и безгранично любопытных людей. Упорно выискивают они мало кому понятные проблемы, бьются над ними, копаются в них. Упорно что-то открывают, изобретают, изготовляют. Хорошо сказал казахский поэт Олжас Сулейменов:

Каждому племени нужен один человек,
Ушибленный звездой. Заводите таких.

Не стоит далеко заходить, чтобы найти такого человека. Любой истинный ученый — хоть капельку чудак. Жажда знания в нем неистребима. Ничто — ни войны, ни голод, ни разруха, ни личные невзгоды — не в силах заглушить любознательность ученого, эту драгоценнейшую человеческую черту.

В осажденных Сиракузах Архимед решал математические задачи. В тюремных застенках Кибальчич заканчивал проект космического корабля. В голодном Петрограде, в блокадном Ленинграде продолжала жить настойчивая, неугасимая мысль исследователей.

Много проблем ставит перед нами жизнь. Одни из них решаются очень легко. Над другими бьются ученые нескольких поколений.

Казалось бы, тривиальный, почти детский вопрос: «Как устроен мир?» А ведь ответа на этот вопрос люди ищут более двух тысяч лет.

Ребенок берет в руки игрушку, и жгучая мысль



пронзает его: а что там, внутри? И сразу появляются разломанные куклы, разбитые волчки, разобранные будильники. Иной ребенок, не обнаружив ничего существенного для себя, отбрасывает вместе с игрушкой и неинтересную для него проблему. У другого вопрос о внутреннем строении игрушки остается на всю жизнь, перерастая в вопрос о внутреннем строении мира. Такой ребенок неизбежно становится потом ученым.

В VI веке до нашей эры этот по-детски наивный и по-философски глубокий вопрос — вопрос о внутреннем устройстве мира — впервые задал взрослый человек.

Из какой материи состоит мир? — спросил себя древнегреческий мыслитель, один из основоположников науки, Фалес Милетский. Ему, как и другим ученым ионийской школы, казалось, что неизбежно должны существовать некие материальные частицы, какие-то вполне осязаемые элементы, из которых складывается, строится все остальное.

Спустя столетие последователь Фалеса Демокрит впервые нащупал ответ на этот каверзный вопрос. Демокрит полагал, что мир строится из двух элементов: из невидимых глазом мельчайших, нерассекаемых частиц-атомов и из пустоты. Для Демокрита природа — это «беспорядочное движение атомов во всех направлениях».

В красивой, поэтической форме изложил атомистическую гипотезу Демокрита древнеримский философ-ма-

териалист Тит Лукреций Кар. Именно со слов этого первого популяризатора науки мир познакомился с одной из величайших гипотез — с гипотезой об атомах.

Почти две тысячи лет наука довольствовалась умозрительной гипотезой Демокрита—Лукреция. И лишь в XIX веке английский химик и физик Джон Дальтон занялся экспериментальной проверкой атомистических воззрений древних.

Опыт следовал за опытом. Кропотливо и скрупулезно, как это умеет делать только химик, взвешивал Дальтон количество веществ, вступающих в реакцию, сравнивал результаты с количеством веществ, получаемых после реакции.

Длительные химические эксперименты Дальтон закончил важным выводом: каждое химическое вещество соединяется с другим только в определенной пропорции. Как в калейдоскопе из одних и тех же кусочков стекла получается огромное число причудливых композиций, так из мельчайших «кусочков» разных веществ складываются молекулы.

Аппетит приходит во время еды. Дальтон разжег аппетит химиков к дроблению вещества. Они в буквальном смысле начали «пытать» материю: нагревали, перегоняли, испаряли и расплавляли сотни химических соединений. Соединения распадались на отдельные «обломки», на отдельные «кусочки» разных сортов. Но «кусочки» эти держались стойко и ни на что уже больше не распадались.

Ну как тут было не принять эти «осколки» химических элементов за элементарнейшие частицы материи, мельче которых уже ничего нет и не может быть? Как тут не отождествить их с гипотетическими атомами Демокрита?

На этом, атомном, уровне строения материи высшим достижением науки, стремящейся узнать, как устроен мир, было создание периодической системы химических элементов Д. Менделеевым. Он создал ее, опираясь только на значение атомных весов известных в то время элементов и на свою, как сказал впоследствии Н. Бор, «потрясающую интуицию».

Таблица Д. Менделеева обогатила нас знаниями относительно всего того многообразия форм живой и неживой природы, которое царит на нашей планете. Она сыграла исключительно важную роль в химии и

в физике, стимулировала поиски новых химических элементов, для которых в ней были оставлены пустые места.

Сегодня она служит планированию синтеза новых сверхтяжелых элементов, предсказанию свойств еще не созданных синтетических химических соединений. На ее основе строится вся химическая промышленность и металлургия.

Но сам Д. Менделеев испытывал чувство неудовлетворенности оттого, что не знал, какие законы природы лежат в основе угаданной им периодичности в химических и физических свойствах элементов. Фундаментальные законы природы, законы квантовой механики, отражением которых и была периодическая система элементов, удалось открыть лишь после того, как ученые стали исследовать строение материи на следующем — ядерном уровне.

«Прозрение внутренних причин явлений по их внешним проявлениям, может быть, и есть самое важное, самое дорогое и увлекательное во всей науке», — отмечает академик Я. Зельдович.

Сейчас наука о строении вещества обладает такими возможностями, которые позволяют ей проникнуть в глубь материи до 10^{-15} сантиметра. Физики изучают свойства еще более «элементарных» кирпичиков вещества, чем атомы. Для чего это нужно?

Когда они сумеют найти законы, объясняющие детали их поведения, все их качества, предсказывающие, сколько их должно быть, то мы получим «таблицу Менделеева» для элементарных частиц. Она даст нам ключи к пониманию гораздо более широкого круга явлений: от микромира до космологии включительно.

«Однако, — как говорит В. Гейзенберг, — единая теория микро- и макромира все еще остается на сегодняшний день в значительной степени «музыкой грядущего».

Но, вероятно, уже подрастает тот композитор, который сумеет написать ее...

А теперь снова вернемся к тем далеким временам, когда атомистика переживала свой триумф.

Химия не только подарила нам атомы, но и снабдила их специальным ярлыком. Ярлык, прикрепленный к изделиям, громогласно заявляет об их качестве и содержит инструкцию об их использовании. Химический

ярлык на атомах провозгласил неизменяемость и неделимость их основным качеством.

Безапелляционность суждения химиков определила в то время и соответствующее негативное отношение к атомам. Действительно, раз они неделимы, то к чему, спрашивается, тратить время, пытаясь понять их устройство?

Ньютон писал: «Мне представляется, что бог с самого начала сотворил вещество в виде твердых, непроницаемых, подвижных частиц и что этим частицам он придал такие размеры, и такую форму, и такие другие свойства и создал их в таких относительных количествах, как ему нужно было для этой цели, для которой он их сотворил».

Все собранные к этому времени доказательства сводились лишь к одному — к невозможности химического воздействия на атомы.

Почему только химического воздействия? А где были физики? Физики тогда не интересовались атомистикой. И не потому, что атомистика не заслуживала их внимания. Просто-напросто физики в то время были почти безоружны. Они глядели на атомы глазами химиков, чистосердечно доверяя им во всем.

Физики были почти безоружны. Но вот в небогатом их арсенале нашелся один прибор...

Знакомый незнакомец

Физикам повезло. Им не нужно было изобретать и патентовать новое устройство. Не нужно было строить сложнейшую дорогостоящую установку, подобную современному ускорителю. Все оказалось гораздо проще.

Хрупкая стеклянная колба длиной в несколько десятков сантиметров, с впаянными в нее электродами преданно служила уже не одному поколению физиков. С ее помощью изучались электрические разряды в газах с пониженным давлением.

Это была разрядная трубка — популярнейший прибор XIX века. Именно она стала тем инструментом, на котором зазвучали первые аккорды атомной и ядерной физики.

Спокойно и неторопливо изучали физики электриче-

ские разряды в газах. Спокойно и неторопливо заносили они в тетради факты и цифры с характеристикой этого, столь обычного для них явления.

Если б они только знали! Но никто даже не догадывался, что в трубке находится отнюдь не то вещество, с которым мы постоянно сталкиваемся в обыденной жизни, что в трубке под действием приложенного к ней напряжения появляется вещество в новом, неведомом еще ученому миру состоянии. Вещество, разложенное на отрицательно и положительно заряженные частицы. Вещество в новом, четвертом состоянии!

В обыкновенной, всем хорошо известной разрядной трубке находилась плазма. Та самая плазма, без которой сегодня немыслима физика.

Но пути науки неисповедимы — это сейчас знают все. Еще в середине прошлого века английский физик и химик Уильям Крукс открыл, что в разрядной трубке от катода к аноду струится поток отрицательно заряженных частиц. Физики приняли это сообщение весьма равнодушно. Но сам Крукс сделал из него необыкновенный вывод.

«Мы уже, — писал он, — как бы схватили повинующиеся нашему контролю неделимые частицы, о которых с достаточным основанием можно предполагать, что они являются физической основой вселенной». Науке потребовалось тридцать долгих лет, чтобы убедиться, что в газоразрядной трубке под действием напряжения несется поток обломков «неделимых» атомов!

Профессор Кавендишской лаборатории Джозеф Джон Томсон, которого друзья звали запросто «Джи-Джи», начал детально изучать катодные лучи.

Все началось с естественного для физика желания узнать природу обнаруженных в трубке неизвестных частиц. Прекрасный экспериментатор, Дж. Дж. Томсон ставил серию тонких, остроумных опытов. И выяснил, что катодные лучи — это поток электронов — носителей единичных отрицательных зарядов. Позже он измерил отношение заряда к массе и, наконец, массу электрона.

В новой серии экспериментов Дж. Дж. Томсон решил выяснить: зависят ли свойства электронов от того, какой именно газ находится в разрядной трубке?

Ответ застал ученого врасплох. Все электроны оказались совершенно одинаковыми. Так, значит, кроме атомов, существуют и другие мельчайшие частицы? Так,

значит, частицы эти входят в состав всех атомов всех элементов? И атомы, единые и неделимые во веки веков, не так уж просты?

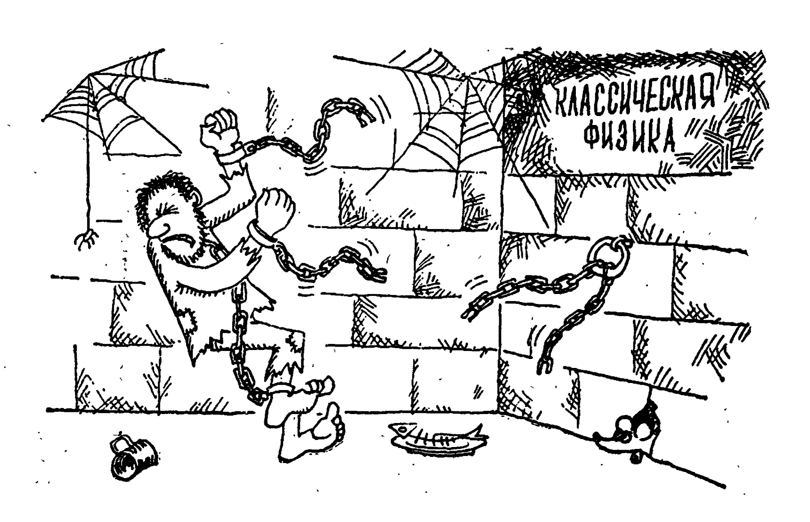
Спокойный, уравновешенный Дж. Дж. Томсон и по складу ума и по характеру менее всего подходил к роли новатора в науке. Он не только не обладал энергичным темпераментом ниспровергателя основ, но никогда и не желал ниспровергать эти основы.

Новаторство — удел молодежи. Сорокалетнему же профессору Кавендишской лаборатории свойственно было скорее закрепление на завоеванных, устоявшихся жизненных позициях. Томсон был воспитан в лучших традициях классической физики. Он никогда не сомневался в ее всеобщности и могуществе.

И вот все рухнуло. Что же делать? Продолжать молиться на ярлык химической атомистики? Или же признать существование еще каких-то частиц, более элементарных, чем сам «неделимый» атом?

К чести Дж. Дж. Томсона борьба в нем двух людей — новатора и консерватора — окончилась победой новатора. Физик-экспериментатор, для которого факты — реальнейшая, если не единственно реальная, вещь на Земле, победил в нем человека, скованного по рукам и ногам канонами современной ему классической физики.

Атомный Рубикон был перейден. Простейшие кирпи-



чики мироздания оказались сложенными, по крайней мере, из электронов.

За три года до конца XIX века в науке произошла смена лидера. Химия потеснилась, а физика начала новое столетие. Сам факт открытия первой элементарной частицы — электрона, то есть еще одной формы материи, трудно сопоставить с чем-либо другим. С крушением мифа о неделимости атома рушилась целая философская система, менялось старое мировоззрение, выработанное многими поколениями ученых.

Перешагнув «атомную черту», физики лишились поддержки классической механики Ньютона. Они лишились почвы, на которой веками стояло здание их науки.

Новой же теории, описывающей только что открытые атомные явления, пока не было. Рождения квантовой механики нужно было ждать еще несколько десятилетий. И физика повисла в воздухе — весьма неудобное состояние для науки.

Два претендента

Открытие электрона, за которое Дж. Дж. Томсон был удостоен Нобелевской премии, еще не прояснило главного. Каверзный вопрос — как устроен атом? — остался открытым.

Но не будем несправедливы к веку наших бабушек и дедушек. Ибо на самом финише прошлого столетия физики получили наконец тот инструмент, с помощью которого уже в наш век удалось проникнуть в глубь атома.

Все началось в Новозеландском университете, где за студенческой партой сидел будущий отец ядерной физики Эрнст Резерфорд. Этот студент осмелился не доверять царившим в химии взглядам на атом. И в подтверждение этого назвал свою первую научную работу «Эволюция элементов».

Окончив университет в 1894 году, Резерфорд приехал на стажировку в Англию. Ему очень повезло: он попал в Кавендишскую лабораторию к Дж. Дж. Томсону.

В это время произошло событие, на которое автор «Эволюции элементов» не мог не обратить самого пристального внимания. В 1896 году представитель боль-

шого семейства французских физиков Беккерелей — Антуан-Анри — открыл радиоактивность. Другими словами, он открыл явление самопроизвольного распада атомов. Это окончательно подорвало авторитет атомов как мельчайших, неделимых частиц вещества.

Вместе с Томсоном Резерфорд занялся изучением природы недавно открытого излучения. И вскоре наткнулся на одну многообещающую особенность. Резерфорду удалось доказать, что радиоактивное излучение неоднородно и состоит по меньшей мере из двух компонентов. Из легких бета-частиц, в которых легко узнать томсоновские электроны, и тяжелых, положительно заряженных альфа-частиц.

Золотые дни сотрудничества с Томсоном быстро кончились. Резерфорд переехал на работу сперва в Канаду, а затем — в Манчестер. Но Кавендишскую лабораторию покидал он не с пустыми руками. В заднем кармане его брюк лежал, образно говоря, заряженный пистолет. А раз появившись на свет, пистолет обязательно стреляет. Обязательно — рано или поздно.

Пистолет Резерфорда выстрелил поздно. Ему уже было за сорок, он почитался уважаемым профессором Манчестерского университета, известным специалистом по радиоактивности, лауреатом Нобелевской премии.

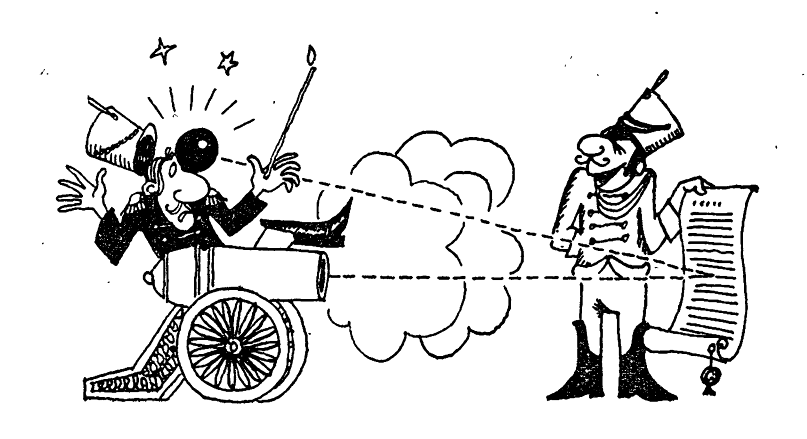
Резерфорд стрелял тяжелыми альфа-частицами по атомам. Между источником альфа-частиц и фотопластинкой он помещал тонкие пленки из разных веществ. В этом случае черное пятно на проявленной фотопластинке — след попадания на нее альфа-частиц — имело размытые края. Атомы пленок слегка изменяли направление полета альфа-частиц.

Резерфорд стрелял по атомам. Но его альфа-снаряды не должны были поражать цель, они должны были зондировать ее.

Первые выстрелы были неудачны. Быстрые альфа-частицы легко проносились сквозь тончайшие пленки, почти не отклоняясь от прямого пути. Выходило, что прав был старик Томсон, утверждавший, что атом — это положительно заряженная сфера, сплошь заполненная электронами?

Но Резерфорда что-то не удовлетворяло в модели атома Томсона. И это чувство толкало его к продолжению начатой работы.

Стрелять альфа-частицами Резерфорд поручил свое-



му ученику Марсдену. И напутствовал его словами: «Я не ожидаю ничего любопытного от ваших опытов, но все же понаблюдайте».

«Понаблюдайте» — характернейшее слово Резерфорда! Оно полно оптимизма. «Понаблюдайте, а вдруг обнаружится что-то новое». Наука для Резерфорда была постоянно растущим деревом, которое самому садоводу нужно и формировать. И всегда быть готовым обрубить засохшие ветви, чтобы дать возможность появиться новым росткам.

Новые ростки появились очень скоро. Марсден обнаружил, что некоторые альфа-частицы, проникая в тонкий слой вещества, отклоняются на 90, а иногда и на 180 градусов!

Сам Резерфорд позднее писал: «Это событие казалось примерно настолько же вероятным, как если бы выстрелили 15-дюймовым снарядом в кусок папиросной бумаги и этот снаряд отразился бы назад и попал в вас».

Что же произошло? Ответ напрашивался сам собой: альфа-частицы сталкивались с массивным заряженным телом, куда более тяжелым, чем электрон или сама альфа-частица.

Первые разведчики, заброшенные в глубины материи, принесли неслыханную весть — в центре полупустого атома лежало ядро. Оно было положительно заряжено и в сто тысяч раз меньше самого атома. А за его мощным электрическим барьером, как за высокими крепостными стенами, были надежно спрятаны сокровища

атома. Но какие? Может быть, там находятся неизвестные частицы с положительным электрическим зарядом?

Физики — увлекающиеся люди. Открыв что-нибудь новое, они тотчас набрасываются на него.

Атомное ядро! Только на нем сосредоточились теперь все интересы Резерфорда. Как подобраться к ядру поближе, как преодолеть его электрический барьер? Это очень легко сделать сегодня — достаточно разогнать протон до энергии всего лишь в один мега-электрон-вольт.

Но у Резерфорда ведь не было ускорителя!

Думал Резерфорд, думали его сотрудники, думали его ученики. Первым нашел выход внук великого Чарлза Дарвина, работавший в те дни у Резерфорда. Он предложил начать с ядер самых легких элементов — ведь у них меньше заряд и, следовательно, куда слабее защита.

Самый легкий элемент вселенной — водород. Поэтому специальную камеру наполнили водородом и начали бомбардировать его альфа-частицами. Опыты проводил все тот же Марсден.

Но что значит — проводил? Это сейчас к услугам физиков самая разнообразная регистрирующая аппаратура. Она все делает: обнаруживает, запоминает, записывает, изображает в виде графика и даже систематизирует результаты опыта.

Тогда было все не так. Марсден часами просиживал перед камерой. На экране одна за другой вспыхивали светлые звездочки. Это не были альфа-частицы — они просто-напросто не могли бы долететь до экрана. Значит, в камере они передавали свою энергию легким ядрам водорода, вспышки которых и появлялись на экране.

Затем Марсден откачивал из камеры водород и для контроля наполнял его азотом. Но вспышки появлялись снова: что это, ошибка? Откуда в наполненной азотом камере появляются ядра водорода? Может быть, камера плохо очищена? Или?.. Проверить, обязательно проверить.

Первая мировая война разрушила все планы. За несколько дней опустела лаборатория. В английской армии сражался Марсден, а против него, в германской, — его друг и ближайший сотрудник Резерфорда Ганс Гейгер. На фронте погиб любимый ученик Резерфорда — Генри Мозли.

Резерфорд с несколькими лаборантами, бросив научные исследования, занялся созданием прибора для обнаружения подводных лодок.

Но в мыслях он постоянно возвращался к необычным результатам, полученным Марсденом перед самой войной. А что, если камера была откачана чисто? Что, если Марсден считал на экране не ядра атомов водорода? Но что тогда?

И Резерфорд, радуясь и страшась этой мысли, по ночам проверял опыты своего ученика. Много раз откачивал он камеру, в ней, казалось, уже не должно было остаться ни одного атома водорода. Но стоило Резерфорду заполнить ее азотом, как на экране снова появлялись вспышки.

Как ему не хватало в эти минуты его европейских друзей, как ему мешала война! Она не только разобщила ученых, но и затормозила самую науку.

И Резерфорд писал своему другу, датскому физику Нильсу Бору, в конце 1916 года: «Я обнаруживаю и подсчитываю легкие атомы, приводимые в движение альфа-частицами, и эти результаты проливают яркий свет на характер и распределение сил вблизи ядра. Я пытаюсь таким же методом взломать атом».

И дальше, самое главное: «Я получил некоторые, как мне кажется, довольно удивительные результаты, но потребуется тяжелый и продолжительный труд, чтобы представить надежные доказательства моих выводов».

Что же это за «некоторые» результаты? Ни много ни мало, а первая в мире ядерная реакция! Первое искусственное расщепление альфа-частицей ядра азота, сопровождающееся вылетом более легкого ядра атома водорода.

Исследователь попеременно заполнял камеру то азотом, то воздухом, то чистым кислородом. И в первом, и во втором, и в третьем случаях экран выдавал присутствие ядер водорода. Но список исследованных элементов очень скоро оборвался — более тяжелые ядра были недоступны альфа-частицам малой энергии.

Резерфорду, однако, полученных результатов было вполне достаточно. Он уже не сомневается в том, что нашел ту самую положительно заряженную «деталь», которую включают в себя все атомные ядра.

Этот вывод подтверждался и теми учеными, которые тоже искали самую легкую частицу с положительным

зарядом в разрядной трубке. Там в обратную сторону — от анода к катоду — двигался поток ионов газа, то есть двигались атомы с содранными электронами. И самой легкой частицей среди них оказалось ядро атома водорода, потерявшего свой единственный электрон.

Так «родилась» на свет вторая элементарная частица — протон — ядро атома водорода.

Протон в две тысячи раз тяжелее электрона. Он полностью соответствовал представлению ученых о возможном носителе положительного заряда в атоме, прекрасно ассоциируясь с огромной массой атомного ядра.

Открытию не сопутствовала ни борьба с канонами науки, ни преодоление психологического барьера. Можно сказать, что весь шум и всю кровь научных баталий взял на себя электрон.

И вот перед физиками лежали два основных «кирпича» материи. И физики вроде бы были этим весьма довольны. Любое вещество строилось у них из атомов, атомы же, в свою очередь, — из электронов и ядер.

Но и тут отыскалась логическая прореха. Ядро атома, несомненно, устойчиво, но вот как представить себе устойчивое ядро, состоящее из одних протонов? Ведь нельзя же, в самом деле, взять да и отменить электрическое отталкивание между частицами с зарядом одинакового знака!

В те годы еще ничего не знали о ядерных силах притяжения между частицами. Поэтому выход нашли в искусственной, чисто умозрительной конструкции, решив, что ядро содержит протоны плюс электроны, уравновешивающие электростатические силы.

До чего простая и вместе с тем приятная для глаза картина! О такой картине строения мира можно только мечтать: никакой сутолоки десятков «простейших, неделимых» атомов. Вместо них — всего две элементарные частицы: легкий электрон и тяжелый протон.

Третий, но не лишний

Небольшой кусочек радиоактивного вещества лежал около пластинки из бериллия. Альфа-частицы проскальзывали сквозь бериллий, выбивая протоны. Счетчик Гей-

гера, сменив легко устающий и легко ошибающийся глаз экспериментатора, щелкал, отсчитывая число вылетающих из пленки частиц.

В одной из физических лабораторий Германии в самом начале 30-х годов был обычный трудовой день. Профессор Вальтер Боте и его друг Бекер приводили в порядок свои записи.

Когда подсчет протонов был окончен, счетчик Гейгера отодвинули настолько, чтобы протоны, вылетающие из бериллия, не долетали до него. И для определения числа фоновых отсчетов снова включили высокое напряжение.

Но счетчик Гейгера продолжал работать. Его отодвинули еще дальше. Счетчик работал. Удивление сменилось растерянностью. Что мог регистрировать счетчик на таком большом расстоянии?

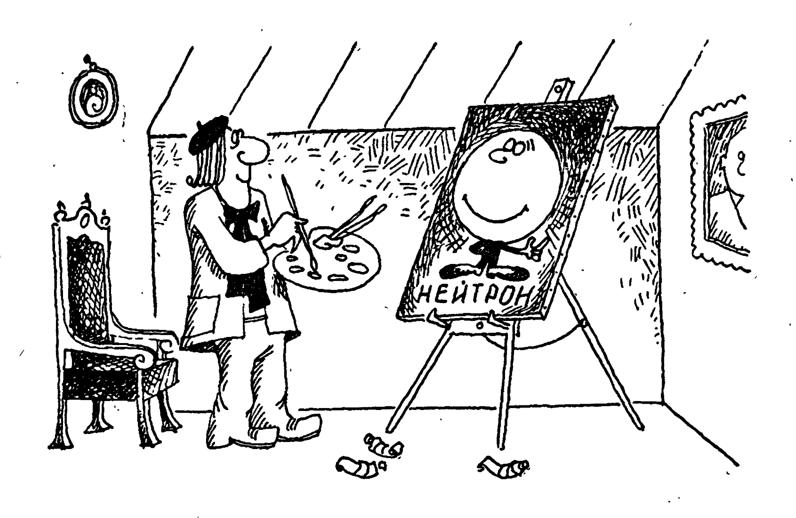
Может быть, это были гамма-кванты—электромагнитное излучение, более проникающее, чем протоны? Против гамма-квантов есть прекрасный заслон — свинцовая пластинка. Но и свинцовая пластинка не помогла: щелчки продолжали следовать в том же ритме. Вторая и третья пластинки также оказались бессильны.

К счетчику Гейгера шла волна какого-то необычного излучения, для которого толстый слой свинца был не страшнее листика папиросной бумаги. Но Боте и Бекер не смогли сделать решительный шаг и воскликнуть: «Так это же новые, неизвестные нам частицы, господа, выбитые из ядер бериллия!» Профессор Боте и Бекер молча записали в лабораторный журнал: «Обнаружены обыкновенные гамма-кванты с большой энергией».

Во Франции «бериллиевым» излучением заинтересовались супруги Ирен и Фредерик Жолио-Кюри. Но французские физики просто повторили вывод своих немецких коллег. «Необычайно проникающие гамма-лучи» — такой вывод сделали супруги Жолио-Кюри. Сделали, несмотря на то, что этот вывод нарушал основной закон механики — закон сохранения импульса.

«Личность» дважды потерпевшей фиаско частицы помог установить ученик Резерфорда, член Лондонского королевского общества, будущий лауреат Нобелевской премии Дж. Чедвик.

В феврале 1932 года, спустя месяц после сообщения о «необычайно проникающих гамма-лучах» супругов



Жолио-Кюри, в английском научном журнале «Природа» появилось коротенькое письмо в редакцию, подписанное Дж. Чедвиком.

«Эти экспериментальные результаты, — писал автор, — очень трудно объяснить на основании гипотезы, что излучение бериллия представляет собой электромагнитное излучение, но они непосредственно вытекают из предположения, что излучение состоит из частиц, которые имеют массу, равную массе протона, но не имеют заряда».

Дж. Чедвик дал почти точный «портрет» нейтральной элементарной частицы — нейтрона. Нейтрон не имел электрического заряда, поэтому он оказался таким неуловимым.

Тяжелая нейтральная частица — нейтрон — очень понравилась физикам. Она своим появлением снимала каверзный вопрос об устойчивости ядра. С появлением нейтронов, которые могли надежно противостоять электростатическим силам отталкивания, электроны были навсегда изгнаны из ядра.

Список элементарных атомных частиц был завершен. Из тяжелых протонов и нейтронов (их стали называть нуклонами) складывались ядра атомов любых химических элементов, а электронные оболочки задавали тон их химическому поведению.

Новая роль

Ребенок, собирая картинку из разноцветных шариков, кладет их в специальные лунки. Художник, создающий мозаичную картину, скрепляет ее отдельные детали цементом.

Физик тоже создает свою картину мира, складывая атомы и ядра атомов из разных совокупностей элементарных частиц. Но какая картина может считаться законченной, если отдельные ее компоненты ничем не скреплены? Где цемент, где тот клей, который скрепляет протоны и нейтроны в ядрах? Какие силы удерживают их вместе?

Может быть, это хорошо знакомые нам гравитационные силы? Нет, силам взаимного тяготения не удержать протоны и нейтроны в ядрах, их массы слишком малы. Электромагнитные силы тоже не подходят на эту роль: одинаково заряженные протоны разлетелись бы в разные стороны. А что удерживало бы в этом случае нейтроны?

После открытия атомного ядра Резерфорд стремился проникнуть в тайну сил, действующих внутри открытого им микрообъекта. Он внимательно наблюдал за «встречей» альфа-частиц с ядрами. «Раз эти силы не были обнаружены раньше, — размышлял Резерфорд, — значит они появляются только на малых расстояниях. Но как близко можно почувствовать их влияние?»

Опыт следовал за опытом. Проходили годы, но однозначного ответа на вопрос все еще не было. Ничего особенного не удалось заметить и при сближении атомных разведчиков с тяжелыми ядрами на расстояние до 10^{-12} сантиметра. Отмечалось лишь тривиальное электростатическое отталкивание. Точно такое, как у одинаково заряженных шариков при демонстрации в школе закона Кулона.

И вдруг большая радость! Альфа-частицы, оказавшись на расстоянии, в десять раз более близком (равном 10^{-13} см) к ядрам водорода — протонам, встретили необычный прием. Их взаимодействие не было электростатическим. Оно происходило совсем по-иному. Пространство на расстоянии 10^{-13} сантиметра находится под контролем ядерных сил.

За один знаменательный 1924 год Резерфорду с сотрудниками удалось расщепить ядра почти всех легких элементов. И всегда, во всех случаях ученые наблюдали появление протонов с энергией, значительно большей, чем передавали им альфа-частицы.

Но почему — большей? Неужели все-таки нарушается закон сохранения энергии?

Ничего подобного. Просто-напросто это результат действия ядерных сил. Протоны получали дополнительный импульс за счет внутренних энергетических ресурсов ядра. За счет той самой ядерной энергии, которую мы уже сегодня используем в атомных электростанциях.

Так был обнаружен «цемент», с помощью которого природа создает мозаику разных веществ.

Ядерные силы в тысячу раз интенсивнее электромагнитных. Они одинаково легко удерживают вместе один протон и один нейтрон в ядре изотопа водорода — дейтерия и сотни протонов, сотни нейтронов в тяжелых ядрах, подобных ядрам урана.

Итак, физики открыли новые силы в природе и придумали им название. Но это отнюдь не значит, что ученые тотчас же поняли их сущность, что они сразу же выяснили всю их подноготную. Открытые силы назвали «ядерными». Но разве можно по одной только фамилии Иванов догадаться, что это за человек?

Впрочем, столкнувшись с незнакомым вам Ивановым, вы, по крайней мере, твердо уверены, что это все-таки человек. А вот физическая основа ядерных сил до сих пор неизвестна. На проблему ядерных сил со времен Резерфорда было потрачено «больше человеко-часов, чем на любой другой научный вопрос в истории человечества». Ученым удалось установить многие их свойства, но строгой теории ядерных сил до сих пор не существует.

Физики пока еще не в состоянии облечь в точную математическую форму это необыкновенно сильное влечение протонов и нейтронов друг к другу. Всемогущая математика в данном случае бессильна.

Нельзя ли хотя бы представить себе механизм действия ядерных сил? Но как пытаться описывать новое явление в микромире, когда нет ни теории, ни экспериментальных результатов?

Изучая макромир, физики нередко прибегают к аналогии. А применим ли этот метод в ядерных процессах?

Аналогия опирается на принцип материального единства мира. Как ни удивительны элементарные частицы, все они материальны по своей природе. Все они обладают такими свойствами объектов макромира, как движение, энергия и т. д.

Опираясь на метод аналогии, академик И. Тамм и профессор Д. Иваненко еще в 1934 году предположили, что ядерные взаимодействия, по-видимому, передаются с помощью электрона и нейтрино, которые испускаются при бета-распаде ядер. Примерно так же, как заряженные тела действуют друг на друга, обмениваясь частицами электромагнитного излучения — фотонами.

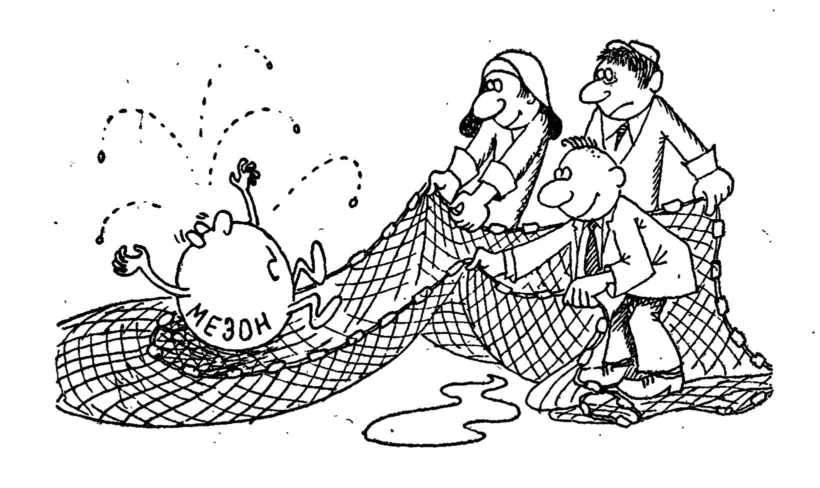
Преподаватель университета в городе Осака двадцативосьмилетний теоретик Хидэки Юкава подхватил эту идею и сделал новый, чрезвычайно смелый шаг. Через год он составил новую роль для не открытой еще элементарной частицы — переносчицы ядерных сил. Подробно описывая свойства, которыми должна обладать претендентка на вакантное место, японский теоретик предложил экспериментаторам поискать ее в космических лучах.

До сих пор физики сперва открывали очередную элементарную частицу, а потом уже находили ей место в общей картине строения материи. Теперь же впервые экспериментаторы начали работу, имея точное задание теоретиков.

В то время ученые как раз всерьез заинтересовались космическим излучением, возникающим в верхних слоях атмосферы Земли. Они изучали механизм взаимодействия космических лучей с веществом атмосферы, пытались измерить их энергию с помощью камеры Вильсона.

Камера Вильсона — интересный, простой и полезный прибор. В ней пересыщенный пар охлаждается и в виде капелек тумана оседает на ионах, которые оставляет за собой пролетающая через камеру заряженная частица. Созданный еще в 1911 году Ч. Вильсоном, этот прибор быстро приобрел большую популярность и стал «высшим кассационным судом в физике». В самом деле, раньше можно было наблюдать за поведением лишь больших масс частиц. Камера Вильсона позволила сделать видимыми и сфотографировать следы отдельных жителей микромира.

«Закинули» экспериментаторы свой «невод» — камеру Вильсона — в космические лучи и через год «вытащили» незнакомую частицу. Она очень походила на ту,



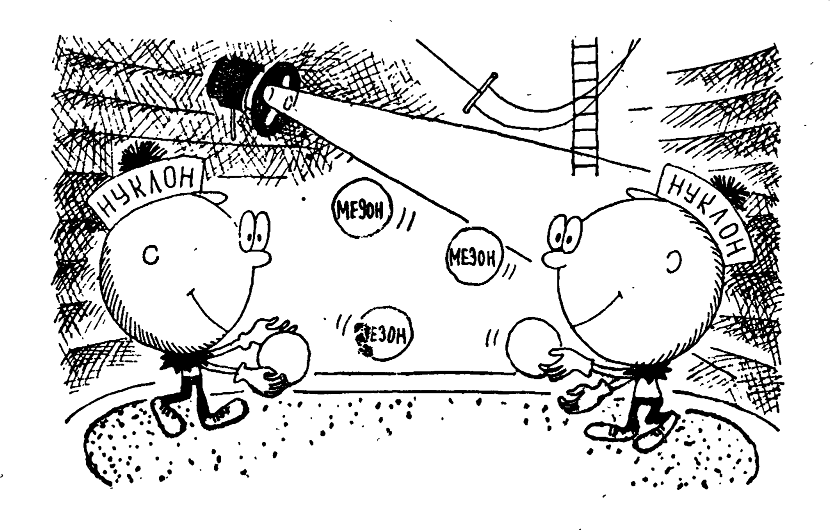
о которой писал Юкава. И массу имела как раз промежуточную между массой протона и электрона. Поэтому назвали ее мезоном от греческого слова «мезос», что означает — средний.

Возликовали физики, но недолго длилась их радость. Рассмотрели они новую частицу повнимательней и ахнули от удивления. Мю-мезон, так стали называть новую частицу, оказался сверхпроникающей частицей космического излучения. Он очень неохотно общался с нуклонами. И благодаря этому совершенно не годился на роль частиц Юкавы.

Вот ведь как бывает в физике — как в жизни. Ищешь одно, а находишь другое. Но зачем существуют эти мю-мезоны? Какая у них «специальность»? Куда девать мезонный кирпичик, подаренный щедрой природой?

Ситуация, в которой оказались физики, напоминала затруднительное положение любознательной крыловской мартышки, раздобывшей очки, но не знающей, что с ними делать.

Почти четыре десятилетия пытаются физики выявить особое дарование мю-мезона, но все их усилия пока что напрасны. Жизнь этой частицы изучена до мельчайших подробностей. Появилось даже новое научное направление, имеющее практическое применение, — мезохимия. Но какой же хитрый этот мю-мезон! Кто он? Неизвестно. Известно лишь, что в микромире он прояв-



ляет себя только в двести раз более массивным исполнителем роли электрона. Загадка мю-мезона до сих пор не разгадана.

Прошло двенадцать лет. И вот однажды при столкновении быстрых протонов с ядрами атомов обнаружилась еще одна частица. Тяжелее предыдущей, она имела все данные, которые позволяли ей претендовать на роль частицы Юкавы. Неравнодушная к нуклонам, новая частица в отличие от мю-мезонов бурно реагировала с атомными ядрами.

Восторгу физиков не было предела. Открытая частица — ее назвали пи-мезоном — полностью соответствовала тому образу, который ученые составили о переносчиках ядерных сил. Непрерывно перекидываясь мезонами, нуклоны в ядре оказываются связанными в единую группу так же, как связаны между собой артисты цирка — жонглеры, перебрасывающиеся одновременно несколькими предметами. Но если жонглеры в цирке получают вполне стабильный реквизит, то нуклоны перебрасываются мезонами, которые сами мгновенно испускают и поглощают. Нейтроны и протоны обмениваются между собой мезонами с положительным и отрицательным зарядом, а протоны с протонами и нейтроны с нейтронами — нейтральными...

В 1947 году открытие это завершилось вручением Хидэки Юкава Нобелевской премии.

К 1950 году мир представлялся устроенным из протонов, нейтронов, электронов, мю-мезонов, пи-мезонов, фотонов. Ученые знали, как из этих кирпичиков складывается гигантская пирамида макромира. И понимали, почему не разваливается на элементарные частицы любой кусок вещества.

Не знали только одного: куда приложить мю-мезонный кирпичик?

Под шапкой-невидимкой

В одну из последних ночей 1846 года немецкий астроном Иоганн Галле нашел в заранее указанной математиком Урбаном Леверье точке неба новую планету. Ее назвали Нептун. Это был триумф классической физики.

«Физика в наши дни, — писал в 1956 году американский ученый Филипп Моррисон, — ждет другого подобного открытия. Существует свой Нептун среди ее элементарных частиц — удивительная частица, упоминаемая физиками в любом обзоре, хотя до сих пор она еще не была открыта».

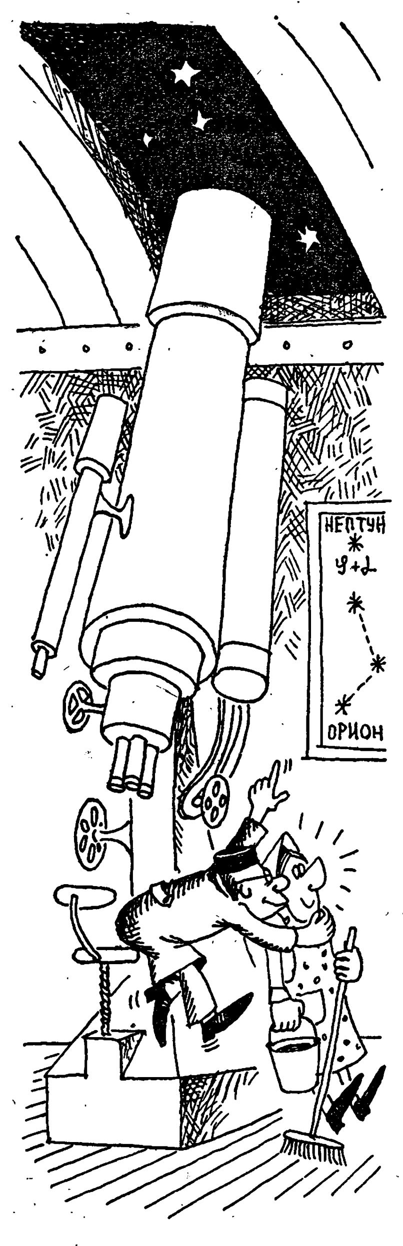
Какая же еще частица понадобилась физикам? И для чего она им была нужна?

После обнаружения нейтрона, протона и электрона казалось, что извечный вопрос о строении материи наконец решен. И вопрос этот можно было снять с повестки дня, если бы не возникло одно маленькое, но очень серьезное затруднение.

Нетрудно рассчитать энергию пули, вылетающей из ствола винтовки, — она всегда постоянна. Пуля при взрыве пороха в патроне уносит с собой определенную энергию заряда.

Нетрудно рассчитать энергию электрона, вылетающего из радиоактивного ядра. Энергия, освобождающаяся при распаде, как считали сорок лет назад, делится только между электронами и самим ядром. И делится всегда по строгому закону механики — обратно пропорционально их массам.

Но когда физики измерили энергию электронов, то растерялись. Такой картины никто не ожидал: электроны уносили из ядра меньше энергии, чем причиталось



на их долю. Мало того, каждый раз количество этой энергии было разное.

Первой, как всегда, была мысль, что произошла ошибка. Ученые лихорадочно искали ее в собственных опытах. Для опровержения странных результатов ставились все новые и новые эксперименты. Но никакие ухищрения не помогали. Опыты упорно подтверждали, что часть энергии словно проваливается под землю.

Так родилась на свет нашумевшая история о «пропаже» энергии при бета-распаде ядер.

И вот тогда у некоторых физиков зародилась крамольная мысль: а может быть, в некоторых ядерных процессах закон сохранения энергии не выполняется? Мысль была настолько кощунственной, что ее прогоняли, о ней старались забыть.

Ученые были в замешательстве. И лишь один из них, швейцарец Вольфганг Паули, нашел удачный выход из затруднения и тем самым ликвидировал угрозу, нависшую над законом сохранения энергии.

В декабре 1930 года он отправил письмо на научный семинар в Тюбинген, заканчивающееся

словами: «...не рискнув, не выиграешь; необходимо поэтому серьезно обсудить любой путь к спасению. Итак, мои дорогие радиоактивные дамы и господа, проверяйте и судите».

Паули предположил, что существует еще одна, не открытая еще частица, которая вылетает вместе с электроном при бета-распаде ядер. И между тремя участниками этого события — электроном, ядром и неизвестной частицей — энергия делится уже произвольным образом, точно так же как энергия пороха произвольно распределяется между дробинками, вылетающими из ружья.

И все сразу стало на свои места. Если электрон вылетал с меньшей энергией, то другую, недостающую часть энергии уносила с собой таинственная незнакомка.

Гипотезу Паули признали далеко не все. И начали тогда физики судить да рядить. С одной стороны, трудно было отказаться от фундаментального закона сохранения энергии. С другой стороны — волей-неволей приходилось вносить еще одну, да еще такую необычную, частицу в целиком и полностью укомплектованный атом.

Судите сами. Другие частицы как частицы. Их можно зарегистрировать в счетчике Гейгера, они оставляют следы в камере Вильсона. А нейтроны или гамма-кванты выдают свое присутствие, толкая протоны или выбивая из атомов электроны.

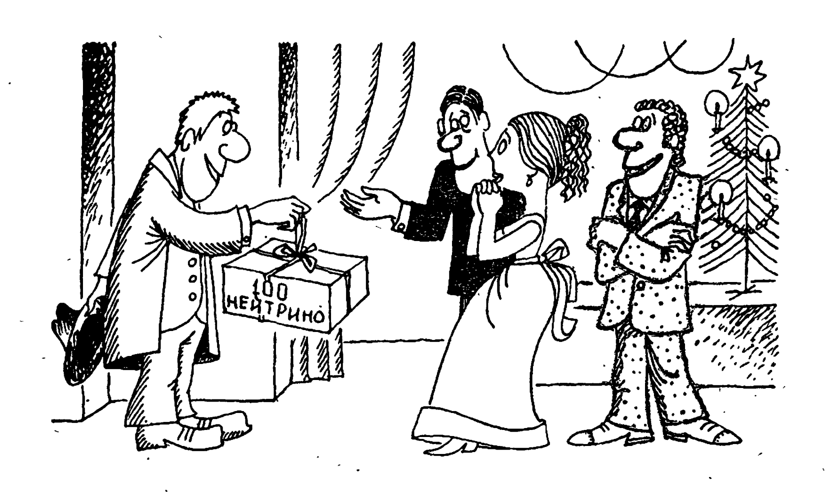
Но таинственная частица никак не давалась экспериментаторам. А Паули, словно подсмеиваясь над ними, уже заготовил «удостоверение», где значились основные приметы незнакомки: легкая, с массой, почти равной нулю, без электрического заряда — нейтральная.

Так это же «паспортные» данные нейтрино! «Что-то маленькое и нейтральное» — так переводится его название с итальянского на русский.

Прорезая массу плотного вещества, нейтрон проделывает путь в несколько метров, не задев ни одного ядра. Много? Конечно. Но не по сравнению с нейтрино. Эта пронырливая частичка летит сквозь толщу плотного вещества до первого столкновения миллиарды лет со световой скоростью.

Фантастическая проникающая способность! В ней-то и заключена главная тайна нейтрино.

В жизни мы сталкиваемся с двумя типами взаимодействия. Одно из них — гравитационное притяжение.



О нем мы узнаем еще в раннем детстве, потирая ушибленные при падении колени и лбы. Но сила тяготения не только швыряет нас на землю. Она же и удерживает нас на Земле. Она цепко держит Луну около Земли, планеты около Солнца.

С другим, с так называемым сильным взаимодействием мы познакомились на примере ядерных сил, которые удерживают в ядре протоны и нейтроны. На малых расстояниях они в тысячу раз сильнее электромагнитных сил.

А нейтрино открыл для нас новый вид взаимодействия — слабое. Все другие элементарные частицы могут общаться между собой разными способами. Нейтрино же природа обделила, не предоставив ему такого выбора. Его удел — одно только слабое взаимодействие. Очень слабое — в сотни миллиардов раз слабее электромагнитного, взаимодействие это делало нейтрино необыкновенно «необщительным». В течение четверти века экспериментаторам не удавалось обнаружить эту необычную частицу. Неуловимое нейтрино проскальзывало сквозь приборы, как крошечный малек сквозь сети с крупной ячеей.

А значение этой частицы по мере понимания роли слабых взаимодействий все возрастало. Уже было ясно, что нейтрино возникают во время ядерных реакций на Солнце и на далеких звездах. Нейтрино вездесущи. Каждый квадратный сантиметр Земли ежесекундно про-

низывают миллиарды нейтрино. Поистине мы живем в бездонном нейтринном океане.

Незадолго до открытия нейтрино один из участников этого эксперимента преподнес своим коллегам новогодний подарок. Под праздничной оберткой находилась раскрашенная спичечная коробка с подписью: «Заведомо содержит, по крайней мере, 100 нейтрино».

Физики смогли обнаружить маленького невидимку, только создав ядерные реакторы — мощные источники нейтрино. Всего лишь одна частица из 10^{20}, проходивших через прибор, застревала в нем. Но поток нейтрино был так велик, что и этой мизерной доли оказалось достаточно для ее обнаружения.

Так в 1956 году Ф. Райнес и К. Коуэн из Лос-Аламосской лаборатории уничтожили таинственный ореол вокруг нейтрино.

Необычайные кирпичи

Всегда так: если радуется дождю садовод, то турист проклинает этот некстати разразившийся ливень. Жарко светит солнце — и опять кому-то хорошо, а кому-то и нет. Увы, идеала на свете не бывает, и угодить на всех невозможно.

До открытия нейтрона физики думали, что атомное ядро состоит из протонов и электронов. Это очень огорчало теоретиков — в их расчетах не сходились концы с концами. Но зато совершенно спокойны были экспериментаторы, изучавшие радиоактивный бета-распад ядер. Им не приходилось ломать голову над тем, откуда берутся электроны.

Нейтрон своим появлением перевернул все вверх дном. Теперь радовались теоретики, потому что нейтронно-протонная модель строения ядра ликвидировала все их затруднения. Но радость гасла и меркла от одного взгляда в сторону тех, кто занимался исследованием радиоактивности. Они требовали ответа на один-единственный, но чрезвычайно тяжелый вопрос: откуда берутся электроны при бета-распаде ядер, если их там нет?

Неужели опять надо отказаться от такой чудесно простой картины строения ядра и сделать шаг назад?

Неужто, увидев наконец ясные горизонты, снова погружаться в пугающую пучину непонятных, не согласующихся друг с другом фактов?

Поставленный в упор вопрос: откуда же в ядре берутся электроны? — заставил физиков сделать громадный шаг вперед. Быть может, не менее серьезный, чем шаг с признанием электронов.

Двадцать три века назад Демокрит наделил мир атомов свойством неделимости, неизменяемости. В самом конце XIX века физики сорвали этот ярлык с атомов и ничтоже сумняшеся перевесили его на элементарные частицы! Очень трудно было физикам представить себе кирпичики материи без привычного спокойного и надежного ярлыка.

Основатель квантовой механики Вернер Гейзенберг первый разрешил загадку ядра. Он предположил, что нейтрон в ядре может иногда превращаться в протон плюс электрон и нейтрино. Протон остается в ядре, а остальные «возникающие» частицы покидают его. Внешне такое превращение выглядит как радиоактивный бета-распад.

Так вот откуда берутся электроны! Впервые исследователи микромира открыли взаимную превращаемость элементарных частиц.

Нейтрон, как потом выяснилось, вне ядра живет не более 12 минут, распадаясь на протон, электрон и нейтрино. Со свободным протоном ничего подобного не случается. Но в радиоактивном ядре энергетическая обстановка складывается так, что даже стабильный протон может превратиться в нейтрон, позитрон и нейтрино. По имени элементарной частицы — позитрон — это событие в жизни радиоактивного ядра стали величать позитронным распадом.

Что это за новая частица — позитрон?

Она и новая, и будто бы уже давно знакома нам. Это точная копия электрона, только с обратным знаком электрического заряда. Казалось бы, и упоминать о ней нечего, если она необходима лишь для нескольких слов о позитронном распаде ядер.

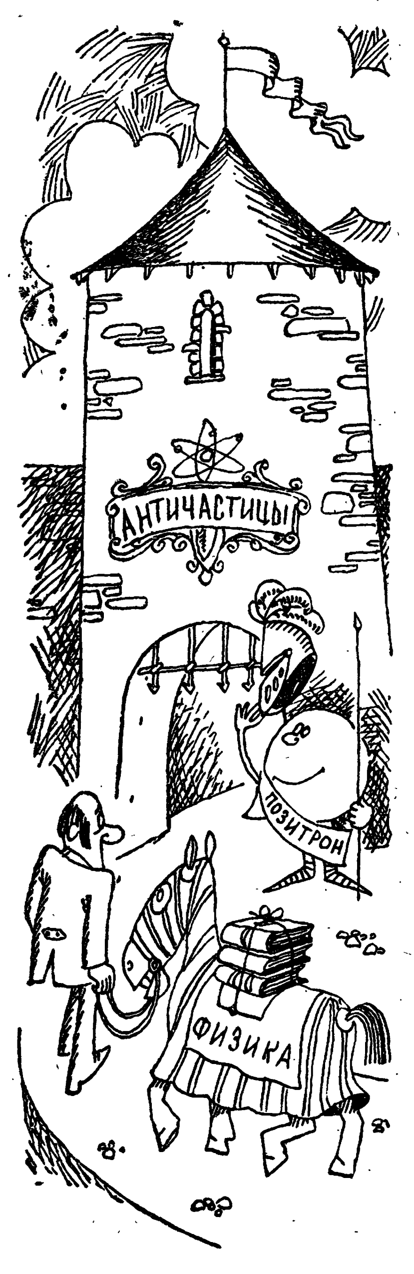
Но нет. Частица эта играет особую роль в истории физики элементарных частиц. Открытие позитрона приоткрыло двери в мир античастиц. Оно продемонстрировало нам еще одно свойство материи — ее способность превращаться из весомой формы в форму энергии!

Все началось с того, что в 1931 году молодой физик-теоретик Кембриджского университета Поль Дирак получил уравнение, описывающее движение электрона. Вскоре он обнаружил, что уравнение это имеет два решения, то есть, помимо электрона, оно пригодно для описания еще одной частицы. Получалось так, что эта частица должна быть полностью аналогична электрону, но с положительным электрическим зарядом.

В то время — а случилось это более сорока лет назад — никто не слыхал об античастицах, а единственной известной физикам частицей с положительным зарядом был протон. Но протон из-за большой массы не отвечал второму решению уравнения Дирака.

Сначала казалось, что это чисто математический курьез. Но все попытки исключить второе решение ни к чему не привели. Одно из двух: либо неверна теория Дирака, либо в природе существует положительно заряженный электрон.

Предсказание Дирака было настолько необычным, что даже крупнейшие ученые далеко не сразу приняли его. Лан-



дау, например, слушая в Харькове доклад Дирака об античастицах, приговаривал: «Дирак — дурак, Дирак — дурак». А спустя три десятилетия заявил: «Кто спорит, что Дирак за несколько лет сделал для науки больше, чем все присутствующие в этой комнате за всю свою жизнь?»

Спустя год, в 1932 году, в космических лучах был обнаружен позитрон. В камере Вильсона нашли следы частиц, которые могли принадлежать только электрону, но с положительным зарядом.

При исследований космических лучей с помощью камеры Вильсона экспериментаторы использовали метод, предложенный еще в 1927 году советским физиком Д. Скобельцыным. Камера Вильсона помещалась между полюсами электромагнита. Это давало возможность не только видеть след элементарной частицы, но и по его искривлению в магнитном поле измерять энергию и определять знак электрического заряда пролетевшей через камеру представительницы микромира. На фотографиях, полученных в камере Вильсона, было отчетливо видно, что следы электрона и позитрона отклоняются в противоположные стороны.

Опыт подтвердил теорию. Двадцативосьмилетний Поль Дирак пополнил список лауреатов Нобелевской премии.

После открытия позитрона возник вопрос: а не имеет ли каждая элементарная частица «антиотражения»? Экспериментаторы занялись поисками антипротона в космических лучах. Электрон-позитронная пара будто бы подтверждала теорию Дирака. Но нет-нет да и закрадывалась мысль об исключении, сделанном природой именно для этих частиц.

«Интервал времени между предсказанием антипротона и его наблюдением в 1955 году был слишком велик, — говорил академик Я. Зельдович, — и у некоторых теоретиков нервы не выдержали — в последние годы появились попытки построить теорию без антипротонов».

Лишь четверть века спустя после предсказания Дирака группа американских ученых под руководством Эмилио Сегре и Оуэна Чемберлена обнаружила антипротон. А через год нашли и антинейтрон.

Ухватившись за позитронный конец, физики снача-

ла медленно, а затем все быстрее и быстрее стали вытягивать сеть с античастицами. И теперь никто уже не сомневается в том, что у каждой элементарной частицы есть своя тень — соответствующая античастица.

Изучая следы позитронов в камере Вильсона, физики сразу же обнаружили, что электрон и позитрон, встречаясь друг с другом, взаимно уничтожаются — аннигилируют.

За природу бояться было нечего — она при этом ничего не теряла. Масса обеих частиц превращалась в другой вид материи — в энергию, количество которой легко подсчитать по известной формуле Альберта Эйнштейна $E = mc^2$.

«Этот результат новейшей физики, — писал лауреат Нобелевской премии Макс Лауэ, — является самым потрясающим из всего, что когда-либо приносило развитие естествознания».

Какими же странными оказались элементарные кирпичики материи! Даже такие стабильные частицы, как протон и электрон, могли «исчезнуть» вместе со своими античастицами. Невольно закрадывалась мысль: как могли до нашего времени сохраниться древние породы, сложенные из такого непрочного материала?

Но дело все в том, что элементарные частицы проявляют готовность к превращениям только в специфических условиях радиоактивных ядер и при встрече с античастицами. В доступной нам области мира стабильных ядер неизмеримо больше, чем радиоактивных. А от аннигиляции нас спасает отсутствие в заметных количествах античастиц.

Эра гиперонов

Не так давно еще робость порой мешала физикам признать преподносимые природой новые частицы. Но к началу 50-х годов психология физиков заметно изменилась. Осмелев, они начали «сочинять» новые роли для неоткрытых элементарных кирпичиков, а потом подыскивать для них исполнителей. Как мореплаватели времен Колумба, физики устремились в манящую, неиз-

веданную страну микромира, увлеченные поисками новых частиц.

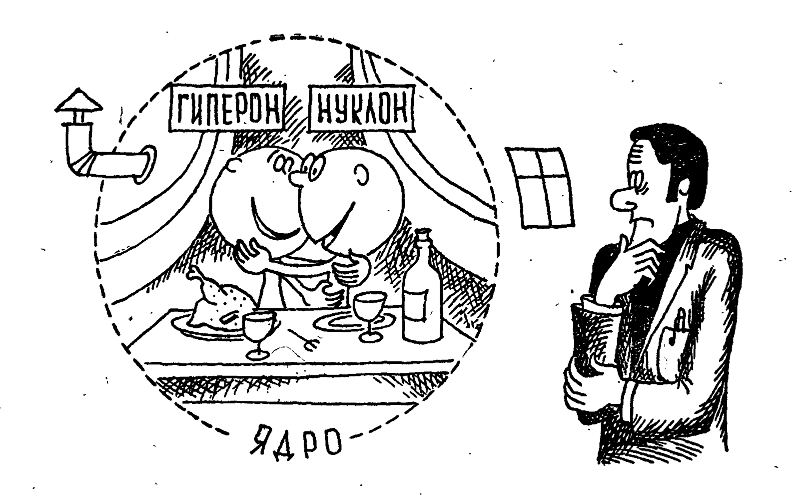
Ученые с помощью камер Вильсона изучали столкновения элементарных частиц с ядрами. В камеру помещали пластинки из необходимого вещества и прослеживали путь частицы до нее, а также следы тех частиц, которые вылетали из пластинки.

И вот в 1951 году на «приманку» — свинцовую пластинку — клюнула необычайно «странная» частица. Космические лучи высокой энергии, сталкиваясь с протонами и нейтронами свинцовой пластинки, родили новую нейтральную частицу. Сама она не оставила следа, но невдалеке от пластинки были видны расходящиеся из одной точки туманные следы двух заряженных частиц, на которые распалась невидимка. Так заканчивалась короткая жизнь новой частицы, длящаяся всего 10^{-10} секунды. Но сколько волнений доставили физикам эти мгновения!

Когда начали изучать фотографии со следами деятельности новых частиц, то обнаружили такое, что впору было схватиться за голову. Оказалось, что открыта не одна частица, а два разных вида элементарных кирпичиков: тяжелые ка-мезоны и более массивные, чем нуклоны, гипероны. Сейчас мезонов и гиперонов уже больше дюжины. И хотя никто не нуждался в появлении новых частиц, да еще в столь большом количестве, и никакая из существующих теорий ничего не предсказывала на этот счет, приходилось как-то привыкать к новым обстоятельствам. Приходилось принимать мир элементарных частиц таким, каков он есть.

Одну привычку, в конце концов, всегда можно заменить другой. К «странности» же новых частиц физики не могут привыкнуть до сих пор. Но почему новый «улов» частиц назвали «странным»? В чем их «странность»?

Ка-мезоны и гипероны рождались в результате сильных взаимодействий между нуклонами за невероятно короткое время, намного меньшее того, что мы обычно называем мгновением ока. Распадались они тоже на сильно взаимодействующие частицы, а значит, и исчезать должны были за такое же короткое время. В действительности частицы эти живут в сто тысяч миллиардов (100 000 000 000 000) раз дольше! Ну как тут не назвать их «странными»?



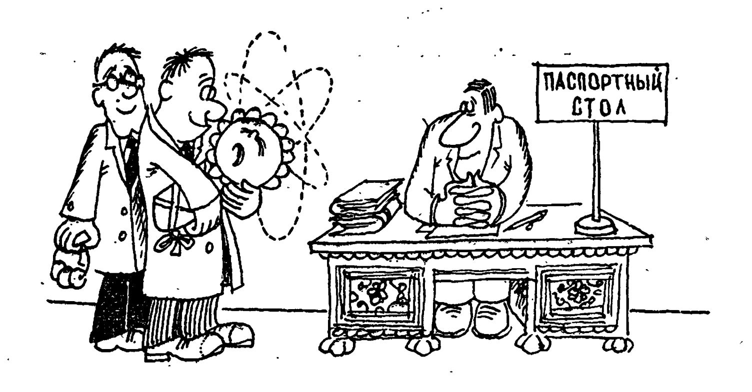
И все-таки «странные» гипероны, по-видимому, довольно близкие родственники нуклонов. Они мирно уживаются рядом не только в таблице элементарных частиц, но и в одном ядре. Нейтральные лямбда-гипероны могут подменить один или даже два нейтрона.

Сам по себе гиперон в ядре не возникает: ядро получает его при столкновении с космическим протоном большой энергии. Один из осколков уносит с собой этот гиперон как память о происшедшей катастрофе. Гиперядро — так назвали осколок — существует столько же, сколько и сам гиперон, приблизительно 10^{-10} секунды.

Но если гипероны ведут себя более или менее сносно, то родственники пи-мезонов — тяжелые ка-мезоны — оказались настоящими бунтарями и нигилистами. Они не желают считаться с важнейшими законами микромира. С момента открытия и по сегодняшний день опыты с ка-мезонами все время в центре внимания физиков.

Видите, как незаметно, движимые детским вопросом «как все устроено?», мы нашли сначала восемь, а к 1960 году — около тридцати сортов кирпичиков материи. Важность и необходимость первых трех частиц была неоспоримой. Поразмыслив, «пристроили к делу» еще шесть вновь открытых. Но тридцати частицам до сих пор не найдено применения!

Безмерная щедрость природы озадачивала. Теперь



уже никто не брал на себя смелость доказать: сколько именно элементарных частиц должно существовать в природе? Когда завершится список кирпичиков материи? Может быть, список этот уже завершен? А может быть, он только еще начинается?

Беспокойное хозяйство

Нежданно-негаданно физики стали владельцами довольно обширного, «многоотраслевого хозяйства» элементарных частиц. Тут и массивные ядерные нуклоны и гипероны, тяжелые мезоны и легкие нейтрино, мю-мезоны и фотоны. Подробно все и перечислить невозможно.

Частиц стало так много, что невольно закрадывалось сомнение: неужели можно достаточно уверенно отличить одну от другой? Бессмысленно говорить о внешнем виде или цвете гиперонов. Но тем не менее частица каждого сорта вскоре после открытия получала паспорт. Фамилию, национальность, социальное положение ей отлично заменяли значения массы, заряда, времени жизни. Не менее важен был и спин частицы — величина, связанная с ее собственным вращением, либо же магнитный момент, имеющий прямое отношение к распределению токов внутри частицы.

В мире растений и в мире животных особи одного

и того же вида всегда, хоть и незначительно, но отличаются друг от друга размером, окраской, поведением. Иногда малоопытный ботаник или зоолог может даже допустить ошибку в классификации из-за сильного отклонения признаков особи от обычных видовых свойств.

Физику-экспериментатору это не грозит. Элементарные частицы одного «сорта» совершенно одинаковы. Все протоны и все нейтроны тождественны друг другу, и неважно — получены они на ускорителе или возникли в космических лучах. Поэтому нет никакой необходимости каждый раз на опыте досконально исследовать все их свойства. Достаточно лишь установить, к какому «сорту» относится данная частица.

По фотографии следа, которая у заряженных частиц играет роль паспортной карточки, можно найти массу частицы. Если след весь укладывается на снимке и вам известна скорость частицы, то считайте, что вы измерили и время ее жизни. Магнитное поле подскажет знак ее заряда.

Все остальные интересующие физика сведения он получает из таблицы элементарных частиц, составленной по «паспортным» данным каждой из них. Загляните в эту таблицу, и вам сразу же бросится в глаза, что один вид частиц отличается от другого в первую очередь по величине массы, времени жизни или способу распада.

Масса частиц изменяется в огромном диапазоне от ноля (у нейтрино и фотона) до величины, равной полутора тысячам масс электрона у самого тяжелого Ω (омега) — гиперона. А время жизни — от 10^{-23} секунды у ро-мезона до 10^{28} лет у протона!

Но какое унылое однообразие в графе «Электрический заряд»! Нейтральная, отрицательно и положительно заряженная — вот и весь диапазон изменений. Правда, слова «отрицательно» и «положительно» заряженные означают лишь знак заряда и ничего не говорят о его величине. Может быть, эта величина варьируется так же сильно, как масса и время жизни?

Для заряда, однако, природа сделала приятное исключение. Частица либо вообще не имеет заряда, либо же у нее заряд в точности равен заряду электрона.

Просматривая таблицу элементарных частиц, мы

уже заметили, что одни частицы легче, другие тяжелее; одни живут долго, а другие только мгновение. Но таблица ничего не говорит об их бурной и наполненной удивительными событиями жизни.

Элементарные кирпичики материи рождаются либо в ядерных катастрофах, при столкновении частиц огромных энергий, либо же в «спокойном» радиоактивном распаде. Нестабильные частицы заканчивают свои «дни» распадом на более легкие. Иногда их захватывают атомные ядра вещества, в котором они останавливаются.

Элементарные частицы испытывают превращения при взаимодействии друг с другом. Причем каждая частица проделывает это на свой лад. Именно в этом проявляется основное качественное различие между частицами.

По характеру их взаимодействия нуклоны и гипероны объединили в группу адронов. Ка-мезоны и пи-мезоны выделили в другую группу. А легкие частицы: мю-мезоны, электроны и нейтрино — назвали лептонами.

Нуклоны не могут подменить ка-мезоны в ядерных реакциях. В гиперядре лептоны никогда не заменят гиперонов. Нейтрон не может распадаться так, как это делают «странные» частицы. А пи-мезон не может родиться в радиоактивном бета-распаде ядер.

Мало кто из сидящих в цирке догадывается, каким способом иллюзионист совершает тот или иной трюк. Но ни у кого это не вызывает ощущения непознаваемости. Все понимают, что аттракцион основан на определенных правилах, если хотите, своего рода законах, где ловкость рук соединяется с изобретательностью и фантазией.

Пока что физики похожи на зрителей цирка. Они не всегда знают, почему именно так ведет себя та или иная частица. Но, изучая микромир, физики поняли, что никакого хаоса в нем нет. Поведение частиц подчиняется четким, строгим законам.

Царство энергии

Наш рассказ об открытии элементарных частиц остановился на 1960 году, когда на руках у физиков оказалось около 30 сортов простейших кирпичиков ма-

терии и не осталось никаких сомнений в том, что в скором времени число их может удвоиться.

К этому времени физика элементарных частиц перестала питаться только сведениями, поступающими от исследователей космических лучей. В научных лабораториях появились мощные ускорители.

Уже в 1949 году в Институте ядерных проблем АН СССР начал работать самый мощный в то время ускоритель в мире. С его помощью физики узнали много нового о свойствах атомных ядер, о взаимодействии быстрых протонов и нейтронов с веществом. Полученные экспериментальные результаты позволили советским ученым через несколько лет решить проблему мирного использования атомной энергии. Пуск в 1954 году в Обнинске первой в мире атомной электростанции открыл новую эру в развитии энергетики.

В апреле 1957 года в подмосковном городе Дубна в Объединенном институте ядерных исследований был запущен новый ускоритель — синхрофазотрон, «производящий» протоны с энергией до 10 миллиардов электрон-вольт.

Ни в одной другой лаборатории мира еще не получали тогда частиц столь большой энергии. Ученым социалистических стран удалось проникнуть еще глубже в тайну строения материи. На этом ускорителе было открыто несколько новых элементарных частиц, в том числе одна из семейства гиперонов: анти-сигма-минус-гиперон.

Все частицы могут рождаться при столкновении любых двух частиц, например протонов большой энергии с атомными ядрами. А где все это происходит — в космосе ли, на границе ли с атмосферой Земли или в мишени ускорителя — не имеет принципиального значения. Правда, космические протоны обладают намного большей энергией, чем протоны, разогнанные на самых мощных ускорителях. Зато насколько удобнее работать с лабораторными пучками пи-мезонов, чем отлавливать их в космических лучах.

Уточняя паспортные данные частиц, физики обратили внимание, что большинство известных частиц живет дольше 10^{-14} секунды. Меньше всех — около 10^{-19} секунды — существует лишь одна частица под названием эта-мезон.

Но ученые не могли понять, почему не обнаружено частиц с временем жизни в интервале от 10^{-19} секунды до так называемого «ядерного» времени, равного 10^{-22} — 10^{-23} секунды? Того самого минимального времени, необходимого новорожденной частице, чтобы заявить о своем появлении на свет. Но едва физики успели задать себе этот вопрос, как частица, рождающаяся на столь краткое мгновение, что и мгновеньем-то его нельзя назвать, была открыта!

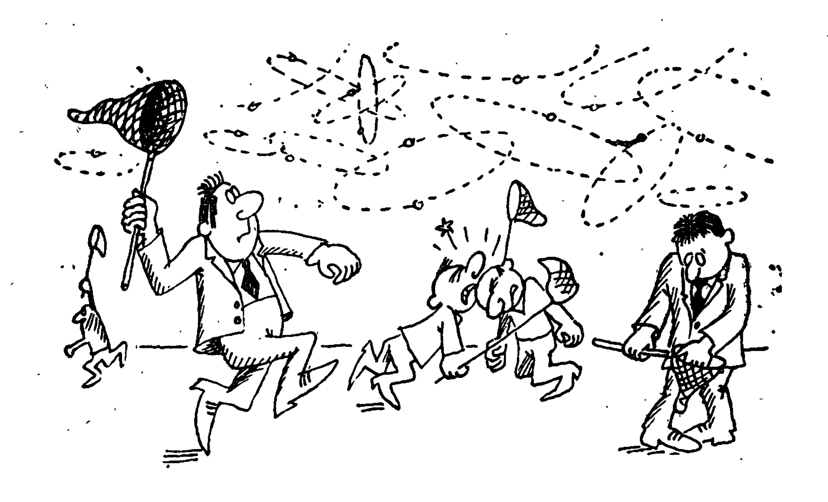
За два года до смерти пятидесятилетний Энрико Ферми на Чикагском ускорителе низких энергий поставил опыт, чтобы выяснить детали взаимодействия пи-мезонов с нуклонами. Результаты оказались удивительными! При некоторой энергии пи-мезона его взаимодействие с протоном меняло свой характер. Это напоминало, например, резкий всплеск интенсивности электромагнитных волн, когда частота излучения генератора приходит в резонанс с частотой, на которую настроена передающая антенна.

Здесь же в резонанс вошли кинетическая энергия пи-мезона и потенциальная энергия его взаимодействия с протоном. Мезон в течение времени, сравнимого с ядерным временем, как бы «задерживался» около протона, и возникала новая сложная частица. Но в те дни этот резонанс не рассматривался еще как частица.

Когда появились более мощные ускорители, энергия протонов была уже так велика, что при столкновении с нуклонами вещества протоны рождали одновременно несколько частиц разных сортов. Физики задумались. А что, если это осколки какой-то первичной, сверхтяжелой частицы, которая распалась в течение «ядерного» времени?

Если измерить углы разлета всех рождающихся частиц и их энергию, то можно было вычислить массу этой «прачастицы». После проделанных измерений и расчетов физики пришли к выводу, что «прачастицы» существуют. Они в течение 10^{-23} секунды распадаются на обычные уже знакомые нам нуклоны, гипероны и мезоны. Новые частицы получили название «резонансов», в котором отражена история их открытия.

Как выяснилось, образование резонансов не исключительное, а довольно общее свойство сильно взаимо-



действующих частиц. При достаточно большой энергии столкновения могут образоваться две, три и больше вторичных частиц, объединяющихся в неустойчивые комплексы.

Первые открытые резонансы были комплексами двух частиц. Одни из них распадались на два пи-мезона, другие — на ка- и пи-мезоны. Потом обнаружились новые, более сложные комбинации.

«Ловлей» новых частиц стало заниматься так много экспериментаторов, что большинство резонансов обнаруживали одновременно в нескольких лабораториях.

«Досадно, что Ферми, обнаруживший в 1953 году первый случай так называемых адронных резонансов, не смог увидеть продолжающегося до сих пор триумфального развития этого направления и появления в таблицах элементарных частиц сотен резонансов», — писал в воспоминаниях об Энрико Ферми его ученик, советский академик Бруно Понтекорво.

Так сколько же, наконец, элементарных частиц известно на сегодняшний день?

Настало время подвести итог, хотя это и не так просто сделать. Рамки довольно скромной, как мы теперь видим, таблицы элементарных частиц, состав-

ленной физиками к 1960 году, были сметены потоком открытых за короткое время новых частиц — резонансов.

Известные нам ранее 30 элементарных частиц, которые еще несколько лет назад могли претендовать на исключительное внимание, оказались лишь относительно устойчивыми и более легкими собратьями огромной совокупности образований. Но и по сей день от экспериментаторов то и дело поступают сообщения об открытии все новых и новых частиц. И все они пока что относятся к резонансам.

Даже специалистам, работающим в области физики элементарных частиц, трудно назвать точное число всех кирпичиков материи. Их уже более двух сотен! Сейчас специальный международный центр ежегодно выпускает стостраничный журнал со сведениями о вновь открытых частицах.

Итак, пытаясь, ответить на вопрос, «как все устроено», физики прошли длинный путь. Вначале была сложная картина строения материи — около девяти десятков «элементарных» атомов. Ее сменила наипростейшая, состоящая всего из трех основных кирпичиков — протона, нейтрона, электрона. И в конце концов пришли к открытию удивительного мира элементарных частиц.

Увлекательны путешествия в космос, на дно морей и океанов. Но не менее увлекательно путешествие в глубины материи!

Альфа-частицы впервые позволили Резерфорду исследовать пространство на расстоянии 10^{-13} сантиметра. А современные сверхскоростные атомные снаряды дают возможность зондировать пространство на расстоянии до 10^{-15} сантиметра!

Кроме новых масштабов пространства, элементарные частицы дали возможность нам познакомиться и с абсолютно новыми масштабами энергии.

После открытия реакций деления физики были потрясены количеством энергии, выделяющимся при делении одного атомного ядра урана. Но при столкновении протона с нуклонами в Серпуховском ускорителе передается и поглощается в тысячу раз большее количество энергии!

Мгновение — и во все стороны от мишени разлета-

ются только что возникшие нуклоны и антинуклоны, мезоны и гипероны. Мгновение — и распадаются на отдельные частицы самые тяжелые из частиц — резонансы. Каждое столкновение вызывает к жизни этот неспокойный, волнующий, изменчивый мир, все краски и разнообразие которого зависят от энергии. Именно энергия и только она — та питательная среда, в которой на мгновение расцветают необычайные «миражи» микромира.

ПОСЛЕДНЯЯ МАТРЕШКА?

В мире этом —
Я знаю — нет счета сокровищам,
Но весьма поучительно для очей
Заглянуть повнимательнее в нутро
вещам,
Прямо в нутро вещей.

Л. Мартынов

Птица Феникс

«По своему первоначальному смыслу, — пишет академик М. Марков, — термин «элементарные частицы» должен был бы обозначать простейшие частицы, из которых состоит материя».

А не поторопились ли так назвать протоны, нейтроны и другие частицы? Разве тяжелые, мгновенно распадающиеся гипероны и резонансы похожи на простейшие части материи?

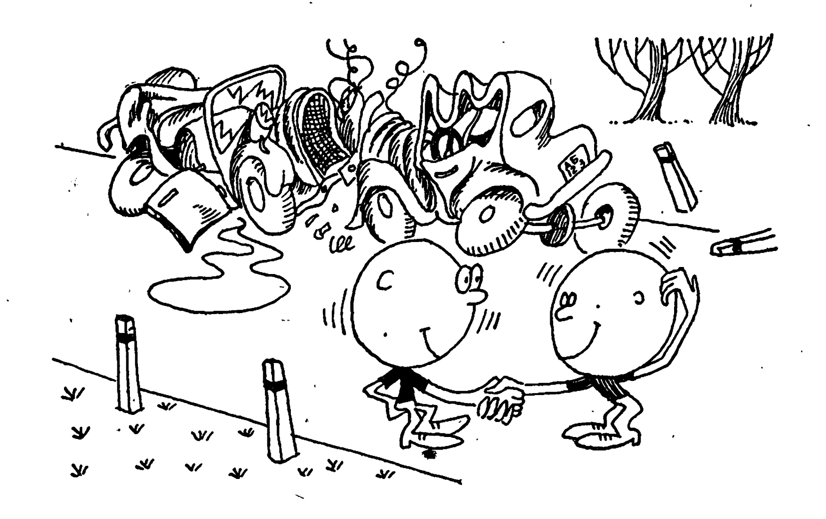
Сомнения одолевали ученых давно. В 1950 году, когда было обнаружено всего лишь девять кирпичиков материи, Энрико Ферми говорил, что «это уже достаточно большое число, чтобы вызвать подозрение в элементарности хотя бы некоторых из них».

Подозрительность физиков возросла еще больше, когда всего за пять лет три десятка кирпичиков превратились в две сотни.

«Понятие элементарности потеряло свой первоначальный смысл, — так резюмировал ситуацию «взрыва рождаемости» частиц физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии, академик И. Тамм. — Сейчас мы не можем отличить истинно элементарные частицы от составных».

Не можем отличить? Но это, кажется, так просто! Если свободный нейтрон при радиоактивном распаде превращается в протон, электрон и нейтрино, следовательно, он, как карточный домик, сложенный из отдельных карт, построен из протона, электрона и нейтрино; а мю-мезон — из электрона и нейтрино.

Но так ли это в действительности? Если «что-то»



состоит из отдельных частей, то с большей или меньшей затратой сил части эти всегда можно обнаружить. Атом, к примеру, содержит в себе электроны и тяжелое ядро. Затратив энергию в несколько десятков электрон-вольт, можно ионизировать атом, оторвав от него необходимое число электронов. Либо выбить из него ядро, как это делал еще Резерфорд, с помощью альфа-частиц.

Наконец, затратив в миллион раз большую энергию, можно расщепить и атомное ядро, щедро набитое протонами и нейтронами.

Словом, все объявляемые элементарными сущности материи сами же физики со временем разделяли, раскрывали, как деревянную матрешку. Заглянув внутрь, они всегда находили там более мелкие, еще более элементарные частицы материи.

Но как раскрыть элементарную частицу? Как узнать, из чего состоит, к примеру, протон? История поиска все более простых кирпичиков материи как будто подсказывает самый естественный ответ: надо стукнуть по элементарной частице как можно сильнее.

Некоторые физики так и поступают. Мишень из водородсодержащего вещества они облучают протонами больших энергий, получаемых на ускорителях. В конце 60-х годов на Дубненском синхрофазотроне они исследовали столкновение протонов с энергией в 10 миллиардов электрон-вольт с другими нуклонами. А сейчас

в американском городе Батавия по мишени ускорителя бьют протонами с энергией в 40 раз большей.

Но до сих пор ни в одном эксперименте не удавалось выбить какую-нибудь «деталь» элементарной частицы, не удавалось обнаружить ее осколка. Во всех ядерных реакциях частица участвовала как единое целое. Оказывается, любая, самая ужасная катастрофа при столкновении в микромире обходится без единой «жертвы».

Так, может быть, элементарные частицы вообще нельзя разделить? И это совсем не простой карточный домик или матрешка?

В ответ на такой вопрос директор лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований член-корреспондент АН СССР А. Балдин сказал:

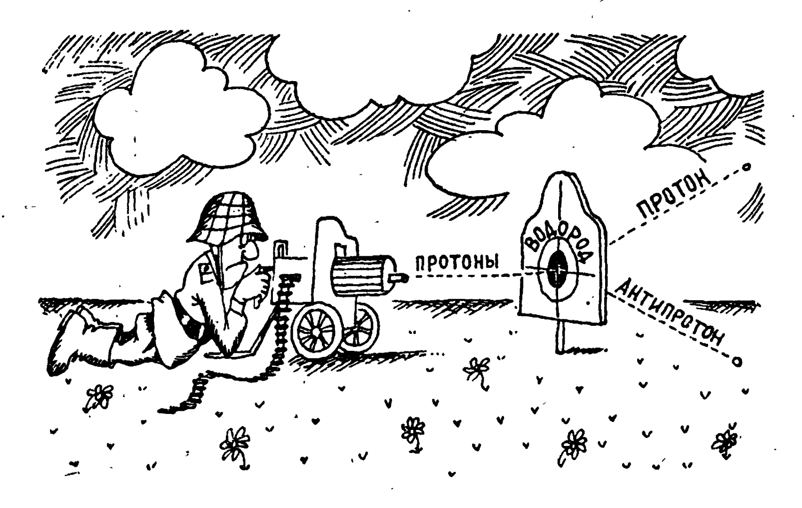
«Говоря о структуре материи, мы исходим из привычного представления о делимости целого на отдельные части. Если же попробовать разорвать, разделить на кусочки элементарную частицу, то в результате появляются новые частицы. Самое поразительное в том, что из этой катастрофы первоначальная частица выходит, как птица Феникс из пепла, невредимой, тождественной своему исходному состоянию!»

Игра по правилам

Представим себе, что мы находимся около ускорителя протонов в Дубне. Все готово к сложному опыту. Укреплена мишень из водорода. Подан ток к магнитам ускорителя. Звуковой сигнал, красный свет предостерегающего табло — и все покидают экспериментальный зал.

В этом зале сейчас совершится не видимое никому, но реально регистрируемое приборами великое «таинство» микромира — рождение элементарных частиц в момент столкновения ускоренных протонов с протонами мишени.

Дежурный оператор включает высокочастотный генератор, и ускоритель начинает работать. При каждом его «выдохе» порция быстрых протонов прошивает мишень. Удар — и аппаратура мгновенно опознает пáры новорожденных близнецов. Либо это протон и антипротон,



либо нейтрон и антинейтрон, либо же резонансы и быстрые пи-мезоны.

Все это происходит в Дубне. А в такой же мишени на Серпуховском синхрофазотроне рождается одновременно еще больше частиц и в еще более богатом ассортименте. Число частиц, таким образом, зависит лишь от энергии налетающего протона.

Изменится ли что-нибудь, если облучить нашу мишень не протонами, а другими частицами?

В Ереване недавно запущен синхротрон, дающий пучок фотонов с энергией в 5 миллиардов электрон-вольт, или в 5 гэв. Но и в Ереване, на этом мощнейшем ускорителе электронов, приборы сообщают то же самое. Катастрофа столкновения фотона с протоном заканчивается без потерь для элементарных частиц. Она лишь сопровождается фейерверком новорожденных мезонов, нуклонов и антинуклонов. И количество их опять определяется энергией налетающего фотона.

В современных чувствительных приборах физики получают полную информацию о результатах ядерной катастрофы: сколько возникло частиц, какие именно и с какой энергией.

В случае, когда атомным снарядам не хватало энергии для рождения антинуклонов, антипротонов и антинейтронов, все было очень просто. Происходящая реакция подчинялась закону сохранения энергии и еще одному закону — закону сохранения числа нуклонов.

Но когда энергии ускоренных протонов стало хватать и на рождение антинуклонов, на первых порах началась неразбериха. Закон сохранения числа нуклонов перестал выполняться в ядерных реакциях. Казалось, что процесс рождения новых частиц подчинялся только закону сохранения энергии. Во всем же остальном он был совершенно стихийным.

Энергия, энергия и еще раз энергия! Неужели в микромире она правит безраздельно, не ограниченная никакими законами и правилами?

На первый взгляд кажется, что все именно так и происходит. Сшибаются два протона. В результате реакции столкновения нарождается несколько новых протонов, а также — на радость экспериментаторов — целый сонм антипротонов, нейтронов, антинейтронов и мезонов. Что-то вроде игры в рулетку — забрасываешь свой протон и ждешь, что она тебе в обмен выкинет.

Вскоре физики подметили, что в этой азартной игре не может выпасть произвольное число очков. Есть и в ней свои строгие правила.

Согласно этим правилам физики приписали каждому нуклону +1 очко, а антинуклону —1 очко. Мезоны получили 0 очков. Теперь даже первоклассник легко мог подсчитать, что во всех реакциях общее число очков до столкновения всегда было равно числу этих очков после столкновения.

Очки, которые получали нуклоны, антинуклоны и мезоны, физики назвали барионным зарядом этих частиц. Обнаруженное же правило игры — законом сохранения барионного заряда. Сколько бы ни сталкивались протоны с протонами, с нейтронами или с гамма-квантами, после реакции возникало столько же новых нуклонов, сколько и антинуклонов.

«Этот закон, — писал профессор Я. Смородинский, — отражает фундаментальное свойство атомных ядер, их устойчивость. При малейшем нарушении этого закона протоны или нейтроны в ядрах исчезли бы, превратившись, например, в позитроны, нейтрино или мезоны. И самим своим существованием мы обязаны тому, что закон сохранения барионного заряда никогда не нарушается».

Есть и другие правила и законы, которым подчиняется рождение элементарных частиц, но сейчас мы не будем останавливаться на них. Перечисление их мало

что прояснит в интересующей нас проблеме. Даже познав эти правила, физики не знают, как объяснить и понять эту бесконечную игру: сколько чего выпадет?

Но самое главное — не ясно, откуда берется весь этот ворох частиц, возникающих при столкновении?

Точка или не точка?

Ударьте палкой по ковру — сотни пылинок запляшут в солнечном луче. И никого не взволнует вопрос: откуда они взялись? Всем ясно, что пылинки прятались в ворсинках ковра, пока палка не выбила их оттуда.

А можно ли спросить, где прятались частицы, возникающие на ускорителе при столкновении, например, протонов?

Нельзя. Это бессмысленный вопрос. Они нигде не прятались. Они родились в момент удара. Вспомним: когда протон в радиоактивном ядре превращается в нейтрон, электрон и нейтрино, не говорим же мы, что последние две легкие частицы прятались в ядре! Они просто возникли в момент превращения.

Физики уже давно знают, что протон может превратиться в нейтрон, а нейтрон — в протон. Пи-мезоны распадаются на легкие частицы; тяжелые резонансы — на «странные» частицы и обычные; гипероны и ка-мезоны — на протоны и нейтроны. В то же время протоны больших энергий, сталкиваясь с нуклонами мишени, рождают резонансы, гипероны, нуклоны и мезоны.

Эта взаимная превращаемость элементарных частиц, возможность их рождения и исчезновения неизбежно приводила к мысли о взаимной обусловленности их свойств. Создавалось впечатление, что в образ одной элементарной частицы вносят свой вклад все другие сограждане микромира.

Постепенно идея — «Все состоит из всего» — стала тривиальной. Американский теоретик Д. Чу удачно окрестил ее «ядерной демократией», господствующей в семействе сильно взаимодействующих частиц.

Но, рассуждая таким образом, физикам уже трудно было отделаться от ощущения, что частицы, которые теория именует точечными, на самом деле обладают протяженностью и сложной структурой.

Протоны и нейтроны, эти никогда не исчезающие, а только превращающиеся друг в друга частицы, кажутся вполне похожими на точку. Но при одном условии: если смотреть на них издалека. Ну а если подойти поближе?

Протонами — снарядами, ускоренными до огромных энергий, обстреливали мишень. Они так близко подходили к протону — мишени, что «точка» неожиданно продемонстрировала таящиеся в ней бездонные глубины. По образному выражению профессора Я. Смородинского, протон оказался скорее похожим на бурный водоворот, в котором беспрестанно рождаются и исчезают пи-мезоны, названные физиками пионами. Но это еще не все! Кроме пионов, вблизи, или даже скорее внутри того, что мы именуем протоном, возникают и гибнут нуклоны и антинуклоны.

Так, значит, частицы, которые мы называем элементарными, в конечном счете бесконечно сложны и даже, может быть, имеют определенный размер?

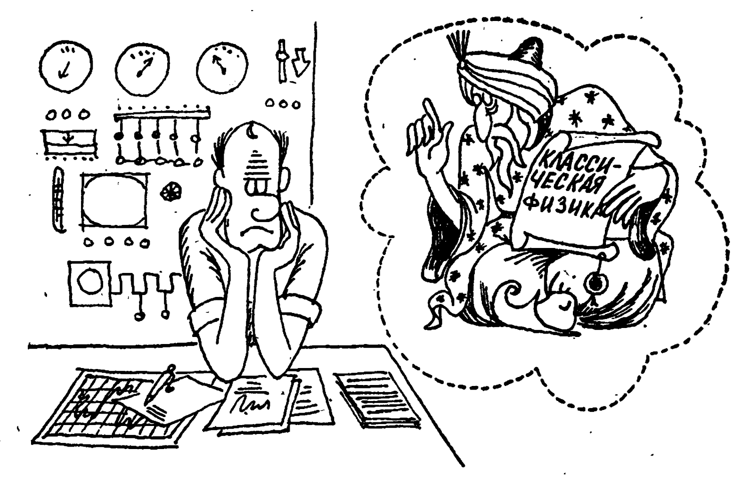
Теория ответить на этот вопрос пока не может.

Загляните в учебники, изданные лет пятнадцать назад. Там вы прочтете, что элементарные частицы в принципе не могут иметь размера, так как они во всех процессах участвуют как единое целое: не расщепляются и не деформируются. И это не ошибка автора книги. Это утверждение лежит в основе самой квантовой механики.

Что же запрещает думать о протяженной частице, создавать какие бы то ни было «картины» частиц и приписывать им структуры?

Лезть в чужой монастырь со своим уставом опасно. А мы все глубже и глубже вторгаемся в необычный мир элементарных частиц с чуждым ему «уставом» классической физики. И классическая физика, как добросовестный, но «устаревший» старик Хоттабыч, нашептывает: если предмет проявляется только как целое, значит он абсолютно тверд.

Разговор о том, точечные частицы или нет, в рамках теории можно считать законченным. Все дальнейшее рассуждение на эту тему пресекает теория относительности. По ее правилам абсолютно твердое тело не может иметь ни структуры, ни размеров. Ведь если столкнутся два абсолютно жестких тела, то толчок должен передаваться мгновенно по всей толще каждого из них.



Мгновенно — это значит быстрее скорости света. А ведь вся теория относительности на том и стоит, что не существует скорости, большей скорости света.

«Элементарная частица в квантовой механике, — говорит академик М. Марков, — это точечная частица в буквальном смысле слова». Вот и весь ответ. К сожалению, и современная теория ничего нам объяснить не может. Она вышла из недр квантовой механики и вслед за ней повторяет «сказку» о частице-точке.

Язык рассеяния

Как известно, сколько ни повторяй: шербет, шербет — во рту сладко не станет. Все эти разговоры о структуре и о протяженности частиц не стоили выеденного яйца, если бы эти свойства нельзя было «прощупать» экспериментально.

Иногда возникает такая ситуация, когда мы не можем или не имеем права открыть какую-нибудь коробку или шкатулку. При этом мы твердо знаем, что в ней что-то есть. Чтобы догадаться о характере содержимого, мы начинаем коробку покачивать и трясти, прислушиваясь к доносящимся до нас звукам.

Чтобы выяснить, нет ли в большой отливке пустот или трещин, ее просвечивают рентгеном или гамма-лучами.

Проблема, стоящая перед исследователями элементарных частиц, куда сложнее. Частица — это не коробка со стенками, а сложная система с распределенным зарядом и токами. Исследовать структуру элементарной частицы — это значит исследовать распределение всех ее зарядов, а также измерить ее электромагнитный радиус.

А можно ли провести такую деликатную и чрезвычайно тонкую операцию?

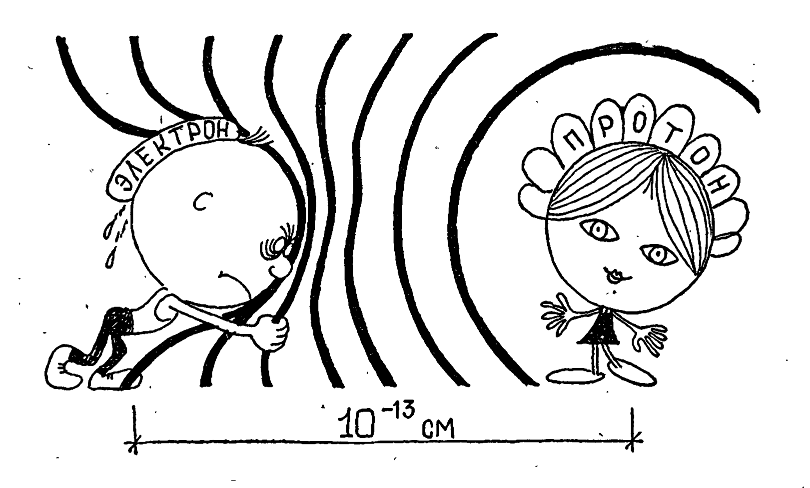
Вспомним, как было открыто атомное ядро. До опытов Резерфорда все представляли себе атомы по модели Томсона: в виде некой положительно заряженной сферы с «плавающими» в ней электронами. Затем с помощью альфа-частицы в атоме нащупали тяжелое ядро.

Экспериментаторы наблюдали, как ведут себя альфа-частицы — эти естественные атомные снаряды, пролетая сквозь тонкие пленки веществ. Большинство их почти не изменяло направления своего движения. Но были и такие, что отклонились от первоначального направления на 90 и даже на 180 градусов. Однозначный вывод об их встрече с тяжелым крошечным телом был сделан незамедлительно.

Универсальным языком рассеяния можно было бы воспользоваться и в нашем случае. Хотя для этой цели такой грубый зонд, как альфа-частица, состоящая из двух протонов и двух нейтронов, не подходил. Не годился и отдельный быстрый нуклон: между ним и частицей-мишенью сразу же начиналось сильное ядерное взаимодействие, в результате которого появлялись новые нуклоны и мезоны. А в таких условиях разобраться не только в структуре частицы, а даже выяснить, исходная это частица или же вновь полученная, просто невозможно.

Пробовали «просветить» протоны частицами света — фотонами. Но и этот способ оказался для изучения деталей структуры элементарной частицы негодным. Чтобы приблизиться к протону на расстояние, меньшее 10^{-13} сантиметра, фотон должен был обладать очень большой энергией. А в этом случае столкновение с протоном опять заканчивалось возникновением резонансов и других частиц. Больше всего годилась для этой цели первая обнаруженная физиками элементарная частица, наш старый знакомый — электрон.

Электроны взаимодействуют с другими частицами



только электромагнитным образом, так что сильное их взаимодействие с протонами мишени исключено. И, кроме того, опыт с электронами можно поставить так, чтобы регистрировать только те из частиц, которые передают протону минимально возможную энергию. Другими словами, исключить случаи рождения новых частиц.

Итак, о том, что частицы-снаряды встречают на своем пути, они рассказывают на языке рассеяния.

Законы рассеяния точечного заряда на другом заряде давно известны из теории электромагнитных взаимодействий. Если предполагать, что электрон точечный, то его рассеяние на протоне покажет нам, по какому закону произойдет их общение друг с другом, имеет ли протон структуру, то есть обнаружится ли отклонение от теории рассеяния точечных зарядов.

Но такая сказка скоро сказывается, да не скоро дело делается. Можно, как говорят, на пальцах объяснить, как исследовать структуру элементарных частиц. Но прежде чем приступить к таким опытам, надо было сначала научиться получать электроны с такой энергией, чтобы они могли приблизиться почти вплотную к протонам. Вплотную — это значит ближе, чем на 10^{-13} сантиметра.

«Надо сказать, — отметил однажды член-корреспондент АН СССР Д. Блохинцев, — что в изучении таких проблем, как структура нуклонов, двигаться впе-

ред так же трудно, как в далекие области вселенной. Разница та, что в астрофизике приходится пользоваться сложными телескопами, а в атомной физике — сложными ускорителями».

Электронный десант

В 1954 году в Стенфордском университете США заработал новый линейный ускоритель электронов. В том же году группа экспериментаторов под руководством американского ученого Роберта Хофштадтера закончила подготовку к штурму нуклонов.

Энрико Ферми говорил: «На каждом этапе развития науки мы называем элементарными те частицы, строение которых не знаем и которые рассматриваем как точечные».

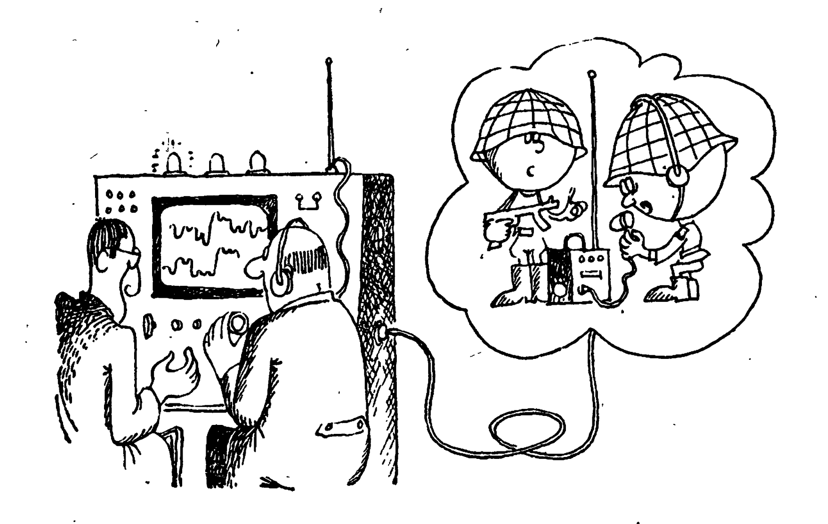
Однако уже в то время, пытаясь представить себе механизм ядерных сил, ученые подозревали, что элементарные частицы имеют весьма сложную структуру. Нуклоны представлялись физикам в виде «голых» собственно нуклонов, закутанных в «шубу» или облако из пи-мезонов. И эти, казалось бы, наивные представления имели под собой некоторые основания.

Играющие в войну мальчишки окружают себя валом из снежков, а потом забрасывают ими воображаемых врагов. Масса снежка определяет то расстояние, с которого можно попасть в «противника». На большем расстоянии игра будет неинтересной.

Точно так же масса пи-мезонов задает радиус действия ядерных сил — то расстояние, на котором могут общаться между собой протоны и нейтроны. А движение заряженных мезонов в облаке создает магнитный момент нуклонов. Уже и этого достаточно, чтобы считать нуклоны и мезоны «структурно» неотделимыми друг от друга. Удастся ли быстрым электронам нащупать эту мезонную шубу?

И вот наступление началось. Электроны на ускорителе Стенфордского университета с энергией до 550 миллионов электрон-вольт погружались в неведомые глубины материи. Аппаратура принимала первые донесения электронного десанта из мишени.

Физики нетерпеливо расшифровывали сведения, пере-



водя их на язык графиков и таблиц, записывали в виде формул. Где-то здесь, в пределах радиуса действия ядерных сил, равного как раз 10^{-13} сантиметра, электронный десант должен был обнаружить передовые посты нуклонов — заряженное облако пи-мезонов.

Первые же результаты принесли разочарование: электроны рассеивались на протонах, как на точечном заряде. Но неудача первых опытов не заставила ученых отступить. Решено было перевооружиться, улучшив аппаратуру и сделав ее более точной.

И снова пучок электронов был направлен на мишень, снова — ожидание и волнение. Что происходило там, в кажущейся бесконечной глубине материи? С чем встретились электроны? С точкой, не имеющей размера, или же с протяженным заряженным образованием?

Да, настойчивость и высокое экспериментальное мастерство победили. Электроны обнаружили у протона мезонное облако. Это было фундаментальное открытие, крупнейшее достижение физики. Значит, элементарные частицы имеют внутреннюю структуру!

Нобелевская премия, присужденная Р. Хофштадтеру в 1963 году, увенчала его работы по обнаружению и исследованию электромагнитной структуры нуклонов.

Это, однако, не значило, что Р. Хофштадтеру сразу же удалось снять все вопросы. Далеко не все физики

интерпретировали полученные им результаты как наличие размера и структуры у протона. Оставалось еще одно объяснение: а вдруг и сам электрон не точечный, и законы электромагнитных взаимодействий меняются на расстояниях 10^{-13} сантиметра между зарядами?

Окончательно поверить в протяженность нуклонов можно было лишь тогда, когда удалось бы наблюдать взаимодействие двух точечных зарядов, расположенных друг к другу ближе 10^{-13} сантиметра.

И тогда вспомнили о мю-мезонах, этих неудачных претендентах на роль переносчиков ядерных сил. Как и электроны, мю-мезоны проявляют себя либо электромагнитным, либо слабым образом. Если пренебречь в тысячи раз меньшим влиянием слабого взаимодействия, то можно ожидать, что встреча мю-мезона с электроном произойдет по электромагнитным правилам, как встреча двух зарядов.

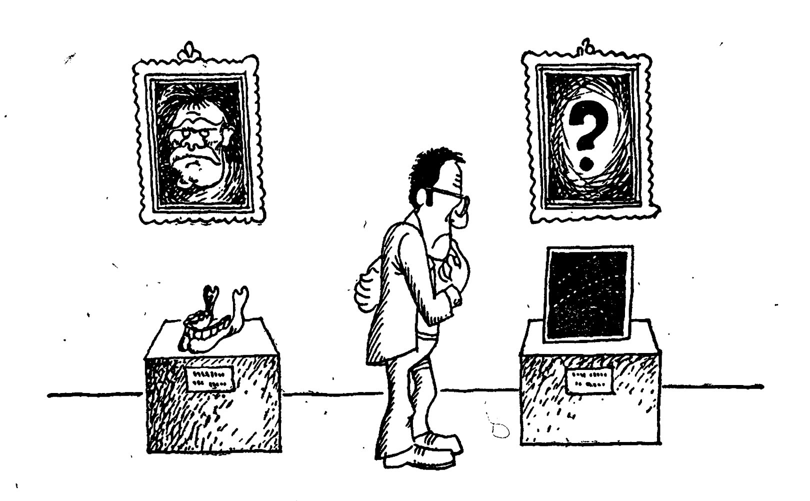
Рассеяние мю-мезонов на электронах атомов — вот где ключ к определению структуры нуклонов! В опытах, где электрон и мю-мезон сближались на расстояние, даже значительно меньше 10^{-14} сантиметра, этикет, предписанный теорией электромагнитных взаимодействий для точечных зарядов, не нарушался.

Значит, эксперименты Р. Хофштадтера можно было объяснить только тем, что элементарные частицы — сложные образования с определенным размером. Какой же сейчас представляют себе ученые электромагнитную структуру протона и нейтрона?

От физиков, изучающих микромир, невозможно требовать воссоздания точной структуры элементарной частицы на основании экспериментальных данных по рассеянию.

По черепу можно восстановить многие детали лица. Наверное, многие видели оригинальные скульптуры Герасимова в Музее антропологии. Его скульптурные портреты очень достоверны потому, что существует строгая зависимость между размером и формой любой кости черепа и соответствующей ей мышцы лица.

Физик поступает скорее как палеонтолог, который по одной берцовой кости или челюсти вынужден воссоздать облик ископаемого существа. Разумеется, реконструированный облик какого-нибудь ящера может не совпадать в деталях с жившим миллионы лет назад существом. Да этого и трудно ожидать. Тем не менее в об-



щих чертах мы получаем более или менее достоверную картину.

Что же, в сущности, удалось обнаружить Р. Хофштадтеру? «Элементарные» протоны и нейтроны имеют весьма сложную структуру. Большая часть их массы сосредоточена в области пространства с радиусом приблизительно $0{,}8 \cdot 10^{-13}$ сантиметра. Ее окружает рыхлая мезонная оболочка, которую физики именуют то мезонным облаком, то мезонной шубой. Плотность мезонной оболочки с удалением от центра уменьшается.

Заряд протона распределен тоже неоднородно. На центральную часть приходится чуть больше десяти процентов, остальная же размазана по мезонному облаку.

Раньше казалось, что нейтрон, в среднем нейтральный, имеет области, заряженные положительно и отрицательно. Но такая модель нейтрона потерпела фиаско. Электронный десант, подбираясь к нему, не обнаружил электрического форпоста — заряженного мезонного облака. Может быть, заряд прячется где-то глубже?

Сейчас электроны очень больших энергий проникают в нейтрон уже на расстояние $0{,}2 \cdot 10^{-13}$ сантиметра, а заряженной области пока еще не нашли. Неужели нейтрон точечный?

Нет, это не так. Нельзя сказать, что электроны, достигнув этой необыкновенной глубины, не встретили на пути никакого сопротивления. Напротив, как раз там,

где должна находиться мезонная шуба, налетающие электроны вдруг почувствовали магнитное воздействие.

Значит, и у нейтрона есть мезонное облако? Да. Оно таких же, как и у протона, размеров, только облако это электрически нейтрально. Возможно, оно состоит из нейтральных пи-мезонов, а может быть, из пар отрицательных и положительных мезонов.

Результаты эти заставили физиков засомневаться в точечности остальных частиц. Но как это проверить? Одно дело — долгоживущий нуклон. Ну а как исследовать частицу, существующую меньше 10^{-10} секунды? Как быть с теми частицами, которые появляются на свет всего лишь на 10^{-19} секунды? Как сделать из них мишень для электронов?

И все-таки в последнее время ученые нашли способ «измерить» пи-мезон. Оказалось, что и он не точечный, а имеет вполне определенный радиус, около $0{,}8 \cdot 10^{-13}$ сантиметра. Разумно предположить, что все частицы, испытывающие сильные взаимодействия, таких же размеров.

Ну а что сказать о мю-мезоне, электроне и нейтрино? Мю-мезон и электрон даже на расстоянии менее 10^{-14} сантиметра ведут себя по отношению друг к другу как два точечных заряда. Из этого можно сделать только один вывод: если они все-таки имеют размеры, то размеры их меньше 10^{-14} сантиметра.

Что же дальше?..

Итак, «легенды» о точечных частицах больше не существует. Теперь никому не надо доказывать, что, по крайней мере, сильно взаимодействующие частицы — сложные системы с конечным электромагнитным радиусом.

Так что же такое элементарная частица? Последняя ли это «матрешка» в структуре строения материи или нет?

Сенсационные результаты экспериментов Р. Хофштадтера по рассеянию быстрых электронов способствовали появлению составных моделей элементарных частиц.

В наиболее удачной составной модели, предложенной японским ученым Сакатой, такими основными частица-



ми, из которых строились все остальные, были выбраны лямбда-гиперон, протон и антинейтрон. В ней нашла свое дальнейшее развитие идея выдающихся теоретиков Ферми и Янга, впервые предложивших построить элементарную частицу, пи-мезон, из нуклона и антинуклона, то есть из частиц в несколько раз более тяжелых.

Успешное описание этой моделью ряда ядерных реакций и предсказание ею некоторых свойств частиц вызвало взрыв «моды» на составные модели. Теперь чуть ли не каждый теоретик (и даже нетеоретик) считал для себя делом чести создать собственную, пусть даже экстравагантную, модель элементарной частицы. Но открытие новых частиц, исследование взаимодействия между ними отбрасывали эти эфемерные построения одну за другой. Даже серьезная гипотеза Сакаты не выдержала испытания временем, потому что в ней неудачно были выбраны основные частицы.

Однако математический аппарат этой модели позволил обнаружить новые закономерности в мире элементарных частиц. Идея Сакаты о возможности построения их из трех основных была ближайшей предысторией кварковой модели строения материи, о которой мы узнаем в следующей главе.

Любопытно, что еще в начале века, когда была известна единственная элементарная частица — электрон, Дж. Дж. Томсон уже пытался понять ее строение.

В лекции, так и названной — «По ту сторону электрона», — он сказал:

«Быть может, некоторые из вас готовы меня спросить: следует ли идти за пределы электрона, не будет ли это слишком далеким? Не надо ли где-нибудь провести границу? Очарование физики в том и состоит, что в ней нет жестких и твердых границ, в ней каждое открытие не является пределом, а только аллеей, ведущей в страну еще не исследованную, и сколь бы долго ни существовала наука, всегда будет изобилие нерешенных проблем и физикам никогда не будет опасности стать безработными».

В своей книге, изданной в 1958 году, академик М. Марков говорил о необыкновенной сложности современного образа элементарной частицы, когда каждая из них «начинает представляться сложной композицией всех «элементарных» частиц. Если, действительно, все частицы необходимы для построения образа каждой из них, то естественно искать какой-то другой «материал», более элементарный в том смысле, что он явился бы общим для всего списка фундаментальных частиц».

НОВЫЙ ЛИННЕЙ

Не оступился в этой осыпи,
Не сбился, тайну тронув,
Добился правды каждой особи
В мильярдах электронов.

П. Антокольский

Кто есть кто?

Картина строения материи, добротно нарисованная тремя чистыми «красками»: электронной, протонной и нейтронной, — была так же проста, как детский рисунок.

Ее композиция, определенная строением атома и атомного ядра, без труда толковалась на основе квантовой механики. Казалось, что достаточно прорисовать еще несколько деталей, относящихся к ядру и составляющим его нуклонам, и картина будет завершена.

Однако открытие огромного мира элементарных частиц разрушило эту надежду. Вчерашний шедевр на самом деле оказался лишь предварительным этюдом к будущей картине строения материи.

Если просто нанести на него сотни найденных частиц материи, то, кроме ощущения чего-то непонятного, крайне запутанного и сложного, новая картина ничего не даст. Ясность возникнет лишь в том случае, если каждая частица займет в общей картине предназначенное ей место, когда видна будет взаимная связь между всеми отдельными элементами целого.

Но чем руководствоваться ученым в своих поисках, если нет даже самого примитивного «ранжира» среди элементарных частиц? Может быть, удастся разобраться в общественном положении граждан микромира, если найти принцип «элементарности» частиц?

Но современная теория по-прежнему говорит о точечной частице и в этом смысле не «видит» разницы между легким электроном и тяжелым резонансом. А разница эта прямо-таки бросалась в глаза.



Лептоны: электрон, мю-мезон и нейтрино — не участвуют в сильных взаимодействиях, у них не обнаружена внутренняя структура.

В огромной армии сильно взаимодействующих частиц: нуклонов, тяжелых мезонов, гиперонов, резонансов — иные законы и порядки. Большинство из них распадается на более легкие частицы. А найденная сложная электромагнитная структура у нуклонов и пи-мезонов еще более укрепила подозрения ученых в «неэлементарности» этих частиц. Но, не имея пока возможности доказать это, физики просто лишили их права называться элементарными и стали пользоваться термином «фундаментальные».

Если сравнить даты открытия разных частиц, то легко заметить, что число лептонов за последнее время почти не изменилось, а группа фундаментальных частиц сильно выросла, подобно непрерывно растущему действующему вулкану. Она увеличивается в основном за счет резонансов. Извергающийся поток обширной научной информации о все новых и новых частицах грозил затопить всю физику высоких энергий и лишить ориентировки в мире элементарных частиц.

Релятивистская квантовая теория, пытавшаяся описать мир элементарных частиц на основе нескольких аксиом и принципов, не в состоянии была ввести этот поток в определенное русло.

И тогда возникло новое теоретическое направление, следуя которому ученые нашли порядок в мире элементарных частиц, нашли скрытые в нем закономерности, опираясь только на известные из опыта свойства частиц, такие, как заряд, масса и т. д.

Странные экспонаты

Составленный физиками список двух сотен элементарных кирпичиков материи напоминал гербарий человека, незнакомого с систематикой растений. Этот горе-ботаник, придавая абсолютное значение любым различиям между растениями, отвел бы отдельное место каждому из собранных им экспонатов.

Заслуга Карла Линнея, создателя систематики растений, состояла не только в выборе главных признаков принадлежности растений к определенному виду, но и в указании тех различий, которыми можно пренебречь при объединении видов в семейства, а семейств в отряды.

Но можно ли создать систематику элементарных частиц? Какой именно разницей между частицами можно пренебречь для объединения их в группы?

Физики, правда, уже знали, что в сильных взаимодействиях между протоном и нейтроном, протона с протоном и нейтрона с нейтроном нет никакой разницы. Между этими парами частиц действуют одинаковые силы.

Все эти экспериментальные факты и подсказали Гейзенбергу плодотворную идею. Он первый догадался, что если не обращать внимания на положительный электрический заряд протона и на отсутствие заряда у нейтрона, то их можно принять за одну и ту же частицу — ведь в ядерных взаимодействиях они совершенно идентичны.

Так же, как в сумерках все предметы кажутся одинаково серыми, так несколько тускнеет пестрота элементарных частиц, если не обращать внимания на электромагнитные отношения между ними. Для протона и нейтрона будет вполне достаточно одной «нуклонной» краски, а для трех пи-мезонов с разными электрическими зарядами — одной «пи-мезонной».



Рассчитавшаяся на «первый-второй» и на «первый - второй-третий» неупорядоченная «толпа» элементарных частиц приобрела уже некоторую структуру. И даже этот не такой уж большой шаг к систематике помог теоретикам. Они сразу же установили некоторые соотношения между вероятностями процессов, происходящих с участием частиц одной и той же группы.

Но в то время еще не были открыты «странные» частицы и резонансы. С их появлением «гербарий» элементарных частиц чудовищно распух. И вот тогда-то в 1960 году ученики Сакаты впервые доложили делегатам Международной конференции о гораздо более общей закономерности, существующей среди элементарных частиц. Анализируя модель своего учителя, они обнаружили нечто вроде периодического закона для фундаментальных кирпичиков материи. А год спустя, опираясь на это достижение, два физика — М. Гелл-Манн и Ю. Нееман — независимо друг от друга предложили систематику элементарных частиц, включив в нее и резонансы. На основе этой систематики удалось

все сильно взаимодействующие частицы собрать в несколько больших групп.

М. Гелл-Манн дал своей систематике поэтичное название «восьмеричный путь». Почему восьмеричный? Да потому, что в нем производились действия над восемью квантовыми числами. А также потому, шутя говорил М. Гелл-Манн, что «она напоминает афоризм, приписываемый Будде: «Да, братья, существует святая истина, помогающая укротить страдания: это благородные восемь путей, именно: верные взгляды, верные намерения, верные речи, верные действия, верный образ жизни, верные попытки, верные заботы, верное сосредоточение».

Предложенная М. Гелл-Манном и Ю. Нееманом классификация, без всякого сомнения, «укротила страдания» физиков. Хаос был ликвидирован. Однако вопрос, насколько «верна» эта попытка, продиктованная самыми «верными» намерениями, оставался открытым.

После работ М. Гелл-Манна и Ю. Неемана появились и другие варианты ликвидации хаоса, казавшиеся своим авторам не менее «благоразумными».

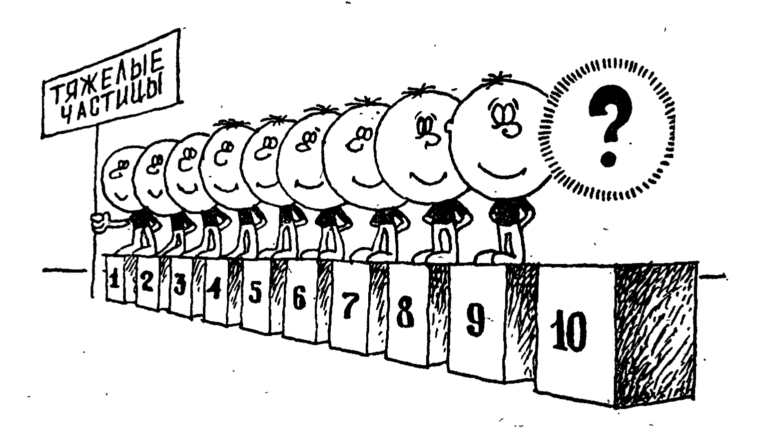
Сложилась странная ситуация. С одной стороны, многие в то время считали создание систематики фундаментальных частиц неперспективным направлением в физике. Сторонники строгой теории считали это занятие недостойным настоящего ученого.

С другой стороны, усилившийся поток теоретических работ на эту тему вызвал даже «испуг и настороженность» в ряде научных журналов. Создалось впечатление, что «при свете дня теоретики склонны отзываться об этом направлении иронически, а в тиши ночей пишут о нем работы, число которых растет экспоненциально».

Как бы то ни было, но все больше физиков вовлекалось в «конкурс» на лучший «гербарий» элементарных частиц. Научная атмосфера в физике высоких энергий становилась все напряженнее. Какой вариант будет признан лучшим? Что скажет самое объективное и справедливое «жюри» — эксперимент?

А он пока молчал. Молчал, как мудрец, задумавшийся над сложной задачей. Воспользовавшись этим обстоятельством, поговорим пока о том, чего же ждали от эксперимента авторы «восьмеричного пути».

Пропустив свою идею через «математические операции», разработанные еще в XIX веке норвежским математиком Софусом Ли и поэтому названные алгеброй Ли,



они получили четкий план «построения» фундаментальных частиц. Частицам предписывалось выстроиться в группы из трех, из восьми и из десяти членов. Причем в одну и ту же группу попадали частицы с определенными квантовыми числами.

Когда нуклоны, мезоны и резонансы разбросали по этим группам, оказалось, что, кроме целиком пустой группы из трех, в группе из десяти тяжелых частиц одно место также пустует. Кого же не хватает?

Кто интересовался историей составления Д. Менделеевым своей периодической таблицы элементов, тот знает, что она включала и пустые места для еще не открытых веществ. Причем свойства этих элементов были уже предсказаны Дмитрием Ивановичем.

С помощью правил, которым подчиняются разделенные на группы частицы, нетрудно было установить, что недоставало самой тяжелой частицы из десятка сограждан микромира. Незнакомку назвали омега-минус-гиперон и написали ее «портрет» — массу и квантовые числа, — который оказался впоследствии очень близким к оригиналу.

Найденная упорядоченность помогла связать друг с другом явления, в которых теория не находила ничего общего, и вычислить вероятности ядерных реакций с участием частиц одной и той же группы. Впервые удалось с большой точностью теоретически вычислить очень важное для понимания свойств частиц отношение магнитных моментов нейтрона и протона.

И все-таки, несмотря на эти успехи, «дырка», зияющая в десятке тяжеловесов, создавала неуверенность в правильности самой классификации. Экспериментаторы буквально с «портретом» в руках усиленно искали омегу-минус-гиперон. «Если она будет найдена, — писал в то время М. Гелл-Манн, — то правильность восьмеричного пути будет в сильнейшей степени подтверждена».

Однако главный недостаток новой систематики, как казалось всем, заключался в другом. Если на открытие омега-минус-гиперона еще можно было надеяться, то заполнить еще целую пустую группу из трех частиц не представлялось возможным.

И дело было вовсе не в том, что не хватало еще трех частиц. История физики высоких энергий свидетельствовала, что этот недостаток восполним, надо только подождать. Ситуация была значительно сложнее. Математическая логика восьмеричного пути зарезервировала эти места для совершенно необычных граждан микромира.

Все частицы, с которыми физикам приходилось иметь дело, были или нейтральны, или имели заряд, равный заряду электрона. И вдруг открылась вакансия для частиц с дробным зарядом!

Претендентами на эти места могли быть частицы с зарядом, равным $^1/_3$ и $^2/_3$ электронного. Почти никто не сомневался в абсурдности такого предсказания. Отсутствие омега-минус-гиперона и явная нелепость предсказания группы из трех частиц с дробными электрическими зарядами значительно снижали шансы восьмеричного пути.

В этих сложных условиях М. Гелл-Манн (и независимо от него Цвейг) сделал ход, аналогичный тому, который сделал Тур Хейердал для доказательства своей теории заселения островов Полинезии. Изучив остатки древней культуры Полинезии, Тур Хейердал пришел к выводу, что острова были заселены не из Азии, как утверждалось ранее, а выходцами из Южной Америки. Противники теории Тура Хейердала утверждали, что без навигационных приборов, без предназначенных для дальнего плавания судов невозможно преодолеть огромную водную пустыню Тихого океана. И тогда Тур Хейердал, веря в свою гипотезу, построил плот из бальсовых деревьев и доказал, что на нем можно преодолеть это рас-

стояние. Тем самым он обратил себе на пользу главный аргумент своих противников.

Глубоко веря в свою систематику, М. Гелл-Манн предположил, что необычные частицы с дробным зарядом не только существуют в природе, но именно из них «сделаны» все остальные, включая и недостающую.

Так соединил он несходившиеся «концы» своей теории. А, вероятно, ту долю сомнений и неуверенности, которая еще оставалась в его душе, он вложил в название этих частиц, взятое из научно-фантастического романа.

Слово жюри

«Кварки, кварки, кварки» — такое непонятное слово вдруг замелькало в начале 1964 года на страницах научных и научно-популярных журналов.

Когда в научную среду впервые просочились слухи о кварках, никто не мог понять, что это такое. И словари не могли помочь, потому что перевод этого загадочного слова ни с английского, ни с немецкого языков не имел ровно никакого физического смысла.

Все разъяснилось после выхода очередного американского журнала «Physical Review Letters». В небольшой статье М. Гелл-Манн написал, что необычное имя «кварк» получили три «золушки» восьмеричного пути — те самые три гипотетические частицы с дробными зарядами. Силой воображения теоретика они превратились в самых главных лиц многочисленного общества сильно взаимодействующих частиц.

Протоны, нейтроны и гипероны, а также резонансы прекрасно складывались из разных сочетаний трех кварковых кирпичиков и соответствующих им антикварков, а мезоны — из кварка и антикварка. С их помощью легко объяснились все достижения систематики, в том числе и упаковка по восемь и десять частиц.

«Можно просто и ясно, — говорит академик Я. Зельдович, — объяснить даже ребенку, что есть 10 частиц, потому что каждая частица состоит из трех кирпичиков; есть 3 сорта кирпичиков, и легко проверить, что есть 10 и только 10 разных комбинаций».

И одна из таких десяти комбинаций в точности соответствовала «облику» предсказываемого восьмеричным пу-

тем омега-минус-гиперона. Так в теории М. Гелл-Манна кварки оказались необходимы не только для заполнения пустующей группы, но и для объяснения всей систематики элементарных частиц.

В истории физики уже были аналогичные ситуации, когда теоретики «придумывали» новые частицы. В 1932 году Паули придумал маленькую нейтральную частицу нейтрино для спасения закона сохранения энергии. А годом раньше Дирак на «кончике пера» открыл позитрон. И надо сказать, что ни та, ни другая гипотезы не вызвали поначалу восторга у большинства физиков.

Теория кварков претендовала на большее. Признав существование кварков, следовало тут же признать новый тип материи, атомизм нового типа с еще более «элементарными сущностями».

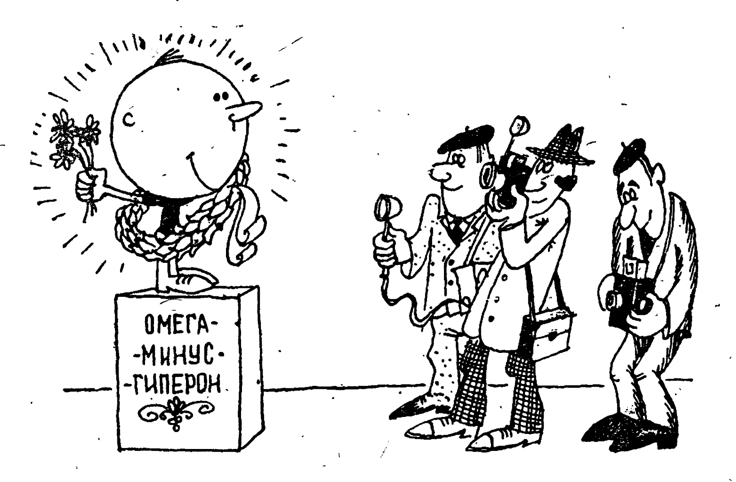
Гипотеза, предлагавшая продолжать приевшуюся игру в матрешки, была встречена более чем прохладно. Значительно позже академик В. Гинзбург писал, что «не все обязаны верить в существование «бесконечной матрешки»: открыл одну куклу, а в ней лежит другая — и так без конца». Возня с кварковым «конструктором» казалась теоретикам простой забавой. И они были по-своему правы.

Ведь все предыдущие попытки «строить» (теоретически, конечно) фундаментальные частицы из других реальных частиц не приводили к успеху. Можно было каждую частицу считать составленной из любых других с подходящими квантовыми числами. Но нельзя объяснить ее свойства с помощью этих частиц, из которых она якобы сделана. Они, образовав новую частицу, как бы теряют при этом свое «лицо».

Кварковая же модель настаивала как раз на таком примитивном построении частиц, но из трех сортов кварков, не теряющих свою индивидуальность. Вот почему упоминание об этой теории часто вызывало улыбку большинства ученых.

В этот-то критический момент и заговорил наконец великий «судья и мудрец» — эксперимент. Мгновенно разнеслась сенсационная новость: обнаружен омега-минус-гиперон! Заполнена десятка тяжелых частиц! Оригинал в точности соответствует заочно нарисованному портрету!

На Брукхейвенском ускорителе в США протонами больших энергий облучали двухметровую водородную



пузырьковую камеру. Обработав сто тысяч полученных фотографий, на одной из них ученые обнаружили эту частицу.

Долго разыскиваемая жительница микромира была торжественно «водворена» на место. Замкнулась десятка тяжелых частиц. Так подтвердилась правильность восьмеричного пути. Эксперимент выбрал наилучший вариант «гербария» фундаментальных частиц.

Значения найденного среди частиц порядка не умаляет и то обстоятельство, что пока неизвестно, какие глубокие законы природы лежат в ее основе. Ведь не знал же Д. Менделеев о соответствии порядкового номера элемента своей периодической таблицы заряду ядра.

Новый способ классификации частиц, за который М. Гелл-Манну была присуждена Нобелевская премия, — фундаментальнейшее открытие физики элементарных частиц.

Ну а как же кварки; значит, и они существуют?

Мудрецы никогда не разжевывают свой ответ, часто превращая его в новую загадку. И нужно быть не меньшим мудрецом, чтобы понять его смысл.

Открытие недостававшей в систематике частицы не решало кварковой загадки. Оно не отрицало их наличия, но и не подтверждало кварковую модель строения частиц.

Как понять этот ответ, напоминающий предсказания дельфийского оракула? Может быть, с помощью новых теоретических построений?

В одной из научных дискуссий по этой проблеме член-корреспондент АН СССР Л. Окунь дал четкий ответ: «Вопрос о том, существуют ли в природе новые стабильные частицы, в частности кварки, может быть решен только эспериментально, а не с помощью теоретических моделей».

Охота на кварки

Тяжело далось Туру Хейердалу получение одного из доказательств своей теории. Но М. Гелл-Манну не было дано и такой возможности. Для доказательства правильности теории кварков надо было обнаружить эти гипотетические частицы.

После сенсационного открытия омега-минус-гиперона акции кварков поднялись. Кварки сразу превратились в лакомый кусочек для экспериментаторов. Началась охота на кварки. Ажиотаж охватил многие лаборатории. Кварки искали в странах восточного и в странах западного полушарий. Их искали на синхрофазотроне Дубны, на ускорителе ЦЕРНа и в Серпухове. Их ищут на самом большом ускорителе мира в Батавии.

Но знали ли экспериментаторы, что искали, как «выглядят» эти кварки? И да, и нет. Твердо известно было только одно: у них дробный электрический заряд. А вот относительно массы — полная неопределенность. По теории кварки могли быть втрое легче протона, но могли весить целую тонну!

Если бы кварки были легче протонов или хотя бы менее массивны, чем самая тяжелая из известных на сегодня частиц-резонансов, их бы давно обнаружили на ускорителях. Даже дробный заряд не помог бы им скрыться от опытного взгляда экспериментаторов. Просто их след в фотоэмульсии был бы тоньше и бледнее, чем у обычных частиц с такой же энергией.

Повседневный опыт нас убедил, что чем крупнее вещь, тем она заметнее и тем легче ее обнаружить. Ведь разыскать в комнате пропавшую книгу несравненно легче, чем маленькую иголку. Казалось бы, так же должны обстоять дела и с поиском тяжелых частиц.

Но в опытах на ускорителях кварки не ищут, а пытаются «создать». И энергия столкновения, необходимая для того, чтобы вызвать к жизни этот фантастический



призрак микромира, должна быть прямо пропорциональна массе кварка.

Все опыты, проведенные на ускорителях до сих пор, закончились отрицательным результатом: свободные кварки не были найдены. По-видимому, ускоренным протонам пока еще не хватает энергии для рождения тяжелого кварка.

Если отбросить крайне завышенную и крайне заниженную оценки массы кварка, как это делается при оценке выступлений фигуристов, то наиболее приемлемой кажется величина в несколько протонных масс.

Но как можно из трех кварков, каждый из которых в несколько раз тяжелее протона, сложить протон? Задача эта не столь уж неразрешима, как кажется. Ядро дейтерия — тяжелого изотопа водорода — состоит из протона и нейтрона, а масса его чуть меньше суммы масс протона и нейтрона. И масса любого ядра всегда меньше суммы масс всех его нейтронов и протонов. Разница идет на энергию взаимодействия, удерживающего нуклоны в ядре.

Посмотрите, как двухлетний малыш легко укладывает в коробку вынутые из нее кубики. Здесь все просто. Общий объем кубиков в точности соответствует объему самой коробки. Но предложите ему уложить в маленькую коробку три огромных надутых резиновых шара. Такую просьбу он воспримет просто как шутку или издевательство. Она покажется ему совершенно невыполнимой.

А между тем задача эта совершенна аналогична той, о которой только что шла речь: как представить себе протон, состоящий из трех тяжелых кварков? Коробка с тремя шариками подскажет ее решение.

Давайте выпустим из каждого шарика столько воздуха, чтобы все они поместились в эту маленькую коробочку. И вот перед вами наглядная модель протона из трех кварков. Не беда, что кварки теряют чуть не 90 процентов своей массы, которая, подобно воздуху из шариков, выделяется при соединении в одну элементарную частицу.

Возможно, кварки неуловимы из-за того, что у существующих ускорителей не хватает энергии, чтобы «надуть» кварковые «шарики»?

Обратимся тогда к космическим лучам. Может быть, у них хватит на это энергии?

В атмосферу Земли посланцы далеких миров попадают с необыкновенно большой энергией. Энергия космических лучей в сто и тысячу миллионов раз больше той, которую могут сообщить протонам ускорители. И что, если там, в заоблачных высях, в ядерных катастрофах рождаются необыкновенные кварки?

Ученые тщательно пересмотрели множество облученных в космических лучах фотоэмульсий, но все безрезультатно.

И вдруг осенью 1969 года научный мир всколыхнуло известие, полученное с Международной конференции в Будапеште. Руководитель центра по изучению космических лучей в Австралии профессор Маккаскер сообщил об открытии кварков!

Он помещал камеру Вильсона в центр широких атмосферных ливней — плотных потоков частиц, — которые создавались протонами чудовищной энергии в 10^{19} — 10^{20} электрон-вольт, приходящих из глубины космоса. И именно здесь Маккаскер и нашел, как ему показалось, эти гипотетические частицы. Среди 60 000 следов частиц, сфотографированных в камере Вильсона, пять оказались вдвое бледнее. Это как будто соответствовало вдвое меньшей ионизации. Именно такой след и должны были оставить кварки с зарядом, равным $^2/_3$ заряда электрона.

Опыт Маккаскера стал сенсацией в научно-популярной прессе. Но ученые, непосредственно заинтересованные в открытии кварков, были гораздо сдержаннее.

Несомненно, что следы на фотографиях Маккаскера были похожи на кварковые, но существует множество посторонних причин, по которым следы эти могли возникнуть. В сообщении австралийского ученого не было главного — контрольного анализа, и это сразу поставило под сомнение результат эксперимента.

В то время как одни искали кварки на ускорителях, а другие в космических лучах, третьи пытались обнаружить их в тончайших экспериментах на... лабораторном столе.

«Не мытьем так катаньем», — говорит народная поговорка. «Не можем создать, так будем искать», — решили ученые.

По теории один из трех кварков должен быть стабильным. И если кварки хоть изредка, да образуются в атмосфере, то, постепенно тормозясь, они будут накапливаться в обычной материи. В почве, в морской воде, в воздухе, во всем, что нас окружает, могут находиться свободные остановившиеся кварки либо же ядра, присоединившие к себе такой кварк.

Но чем отличается, например, капля воды, заряженная кварками, от капли, заряженной электронами? Первая имеет дробный электрический заряд, а вторая — кратный заряду электрона.

И проблема поисков кварков превратилась в проблему поисков дробного электрического заряда в частичках угля, в метеоритах, в капельках воды и в воздухе. Методы, традиционные для физики элементарных частиц, уступили место традиционным методам макрофизики.

Таким образом, стремление обнаружить еще более элементарные частицы материи привело ученых к опытам с макрообъектами. Группа физиков Московского университета с большой точностью измерила заряды угольных пылинок, капелек воды, но дробного заряда не обнаружила. Не обнаружили его и американские и итальянские исследователи.

Общий вывод, к которому пришли ученые, такой: если кварки и существуют в природе, то их в 10^{17} — 10^{18} раз меньше, чем нуклонов. Да, малость этой цифры производит удручающее впечатление. Но не на самих ученых.

Поиски кварков продолжаются до сих пор.

И вот что интересно. Советские физики-теоретики

Я. Зельдович, Л. Окунь и С. Пикельнер сделали попытку теоретически подсчитать: сколько же замедлившихся кварков может быть на Земле? Оценка дала мизерную величину: кварков в 10^{10} — 10^{13} раз меньше, чем нуклонов.

По признанию члена-корреспондента АН СССР Е. Фейнберга: «Это уже снимает некоторую тяжесть с души: понятно, почему их до сих пор не замечали, даже если кварки — реальность».

Весной 1971 года в журналах появилось новое сообщение о наблюдении дробного заряда. Ниобиевый шарик, охлажденный до температуры жидкого гелия, «подвешивался» на магнитных силовых линиях между обкладками конденсатора в вакууме. Шарик попеременно обстреливали положительными и отрицательными электронами из радиоактивных источников, автоматически подводившимися к нему.

После такой операции заряд шарика, кратный электронному, должен был полностью компенсироваться. Но когда к обкладкам конденсатора подвели высокочастотное поле, шарик повел себя так, будто у него дробный заряд, равный ⅓ заряда электрона. Значит, кварки найдены?

Трудно сказать. Этому опыту, как и результатам Маккаскера, не хватает доказательности.

«По-видимому, можно утверждать, что нет таких частиц с массой меньше 6—8 Гэв (то есть в 6—8 раз тяжелее нуклонов)», — пишет академик Я. Зельдович. «Либо они не столь уж тяжелы (скажем, масса кварка приблизительно равна 2,5 массы протона), но сильно взаимодействуют с пи-мезонами и потому... в ходе конкуренции разных процессов уступают место пионам», — такого мнения придерживается член-корреспондент АН СССР Е. Фейнберг.

«Сомнительно, что кварки существуют в свободном состоянии. Так же как звук не существует в пустоте, так и кварки не могут существовать в свободном состоянии, хотя возможно, что они играют важную роль в структуре элементарных частиц», — сказал член-корреспондент АН СССР Д. Блохинцев.

Спустя полгода после создания кварковой модели ее автор, американский ученый М. Гелл-Манн, приехал в Дубну на Международную конференцию по физике высоких энергий. На заданный ему вопрос: «Существуют

ли кварки?» — он ответил совсем коротко: «Кто знает?» («Who knows?»)

«Боюсь, что нужно было бы другое перо — перо писателя, чтобы передать все, что он вложил в эти два коротких слова. Здесь звучало огромное уважение к эксперименту, который в последнем счете решает и ведет науку вперед; здесь была и присущая М. Гелл-Манну интеллектуальная смелость и чувство нового, и готовность принять все, что дает природа, и создать из этого новую теорию, вызвать к жизни новые эксперименты», — так оценил ответ М. Гелл-Манна академик Я. Зельдович.

Кварковый «хор»

Оптимисты все-таки надеются на открытие кварков, аргументируя свое убеждение примерно так: «Поиски нейтрино и антипротона растянулись на четверть века, а вся история кварков не насчитывает и десяти лет. Еще посмотрим, что покажет будущее».

Ну что же, эти слова не лишены доли истины. Некоторые ученые думают, что, если не удалось обнаружить кварки в Серпухове, надо будет искать их на ускорителе в Батавии, где протоны разгоняются до энергии в 400 Гэв. А в случае неудачи отложить поиски до создания другой, более мощной машины...

Не стоит упрекать этих ученых в излишней настойчивости. Настойчивость их имеет под собой веские причины. Открытие кварков заставило бы нас по-иному взглянуть на природу материи. Да и классификация фундаментальных частиц, так естественно получающаяся из кварковой модели, получила бы хорошие подпорки.

Кое-какие факты в запасе у оптимистов уже есть. Обнаружено, что столкновения частиц высокой энергии во многих случаях происходят так, будто попарно сталкиваются кварки, из которых состоят эти частицы.

А иному пессимисту интуиция подсказывает: «Кварков нет, поэтому их и не нашли».

Конечно, каждый имеет свое собственное мнение. Тем более что свободные кварки действительно не найдены. И может так случиться, что они и не будут никогда открыты. Именно такой точки зрения придерживается большая группа ученых. Но в оценке «смысла» самой



кварковой модели и всего восьмеричного пути мнения оптимистов и пессимистов совпадают.

Известный теоретик В. Вайскопф, сам скептически настроенный по отношению к кваркам и сомневающийся в их существовании, в беседе с журналистами рассказал такую историю о Н. Боре. Посетив дом своего товарища, Н. Бор заметил прибитую над дверью подкову и спросил хозяина, что это значит.

— Она приносит счастье, — услышал он в ответ.

— Вы действительно верите в это? — спросил Н. Бор.

— О, я не верю, но должен вам сказать, что это действует даже в том случае, если вы не верите.

И кварки независимо от того, верим мы в них или не верим, тоже «работают». Восемь лет назад М. Гелл-Манн «вывел» их в «большой свет». С тех пор кварки пережили равнодушие и недоверие, вспышки жгучего интереса и разочарование экспериментаторов. Наконец, они обрели спокойную, ровную привязанность теоретиков.

В прошлом году в книжном магазине быстро раскупалась книга под названием «Теория кварков». Полистав ее, мы сразу нашли бы то, что искали.

«За истекшие шесть лет модель кварков прочно вошла в физику, хотя сами кварки открыть не удалось. Теория кварков закрепила свои позиции, и наряду со

специальными статьями, посвященными кваркам, модель кварков используется буквально во всех книгах, посвященных элементарным частицам, фигурирует в докладах и обзорах на всех конференциях по физике высоких энергий».

Трудно сказать более убедительно о «работоспособности» кварков, чем это сделал профессор Д. Иваненко во вступлении к книге. Теперь вопрос сводится к одному: являются ли кварки только наглядным выражением свойств, присущих элементарным частицам, или же кварки — реальные частицы?

И совершенно независимо от того, как решится этот вопрос, уже сейчас ясно, что кварковая модель оказалась плодотворной почвой для возникновения новых теоретических идей. Здесь и попытки объяснения свойств легких частиц, и развитие астрофизических и космологических теорий.

«Модель кварков, — пишет профессор Д. Иваненко, — прочно удержалась в виде «хора», без поддержки которого «солисты» не могли бы разумно оперировать в первых рядах».

Моментальная фотография

Пока теоретики обсуждали проблему кварков, экспериментаторы подготовили для них великолепный сюрприз. В Стэнфордском университете был запущен новый ускоритель электронов на энергию в 17 миллиардов электрон-вольт.

С помощью ускоренных до такой степени электронов уже можно было попытаться «заглянуть» в глубь нуклонов. И профессор Панофский поставил специальный эксперимент, надеясь, что ему удастся обнаружить составные части протона. Если они, конечно, существуют. Идея этого опыта была подсказана моделью кварков.

Предоставив теоретикам право оттачивать свое теоретическое оружие в словесных поединках на международных конференциях и совещаниях, экспериментаторы решили наконец взять «быка за рога». Если кварки нельзя пока ни создать, ни обнаружить в макрообъектах, то нельзя ли попытаться узнать, если ли они в нуклонах. Но как это лучше сделать?



В старых опытах Р. Хофштадтера по определению размеров нуклонов длина волны электронных разведчиков была так велика, что невозможно было различить детали, и воспринимались лишь общие контуры нуклонов. Ну так же, как дальнозоркие люди воспринимают детали предмета, расположенного вблизи глаз. Поэтому для решения новой задачи годились только электроны очень большой энергии с малой длиной волны. Теперь необходимо было выяснить, как рассеиваются электроны, отдав протону значительную часть энергии. Задача не из простых. Нужно не только зарегистрировать электрон, летящий под определенным углом, но и измерить его энергию.

И вот когда все технические трудности остались позади, в руках ученых оказались длинные вереницы цифр, удручающе действующие на неспециалиста. А это был прекрасный итог сложного эксперимента. Но было бы ошибкой думать, что физику достаточно бросить на эти цифры беглый взгляд, чтобы воскликнуть: «Эврика!» Всем не терпелось узнать: что нашли в нуклонах быстрые электроны? Как они отдали свою энергию: целиком одному протону или каким-то его частям?

А пока надо было как можно точнее учесть все возможные ошибки, какие могли внести сами условия эксперимента, и провести заключительный этап — математическую обработку результатов. Вот тут-то и заговорили цифры, да еще как!

«Протон похож на шарик не из желе, а из малиново-

го джема с семечками», — так передал свое впечатление один из теоретиков, интерпретировавших результаты Панофского. Рассеяние электронов происходило так, будто протон состоял из точечных частиц.

Известный американский физик-теоретик Фейнман окрестил их именем «партоны». Это слово образовано от английского «part», что означает «составная часть». Такое простое понятие содержит в себе не менее глубокую бездну неизведанного, чем загадочный «кварк».

В 1969 году на Международной Рочестерской конференции в Киеве физики впервые услышали о партонах. Многие из них сразу задумались: можно ли отождествить партоны с кварками?

К сожалению, четкого ответа на этот вопрос не существует. Природа партонов не ясна. Одни предполагают, что партоны — пи- или ка-мезоны. Другие считают, что партоны подобны кваркам. Действительно, если им приписать дробный электрический заряд, то теоретические расчеты хорошо согласуются с экспериментом.

И все-таки нельзя считать доказанным существование кварков. Рассеяние быстрых электронов на нуклонах дает нам, как говорит Фейнман, лишь «моментальный снимок» составных точечных частиц в нуклоне. А по нему невозможно судить о том, как они должны выглядеть в свободном состоянии и какими свойствами должны обладать.

Хорошо знакомый нам нейтрон имеет разные свойства в зависимости от того, где он находится: в свободном состоянии или же, например, в любом атомном ядре. Ядро это стабильно, а извлеченный из него нейтрон нестабилен. Не проходит четверти часа, как он распадается на протон, электрон и нейтрино.

Кварк с дробным зарядом и большой массой тоже должен подвергнуться метаморфозе, если когда-нибудь очутится в свободном состоянии. Разве сморщенный комочек резины похож на красивый надутый шарик?

Какими окажутся партоны, если их удастся рассмотреть подробно, — неизвестно. И здесь открывается безбрежный простор для теоретического воображения!

УТРАЧЕННЫЕ ИЛЛЮЗИИ

Он шел средь мрака неохватного
Вслед за звездой падучей,
Сквозь неопределенность квантовой
Механики грядущей.
Когда же следующий занавес
Внезапно был распахнут,
Он взял иной предел и заново
Смешал фигурки шахмат.

П. Антокольский

Загадка «тета-тау»

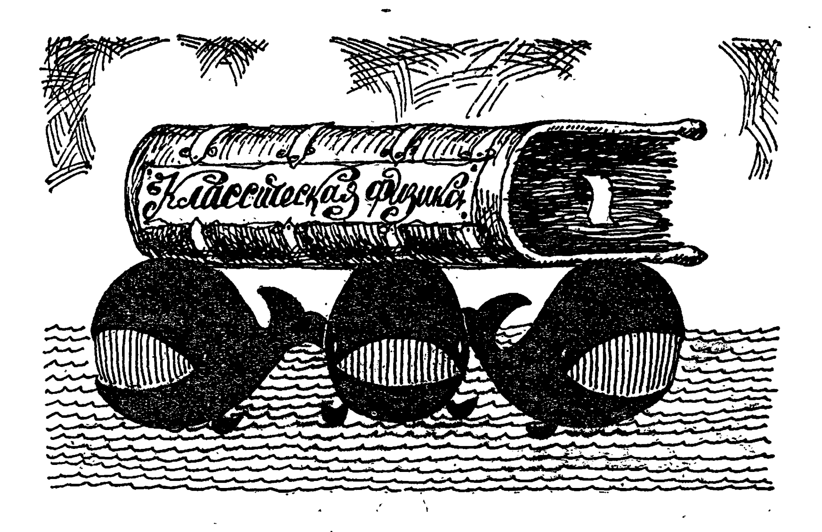
Великолепные фейерверки элементарных частиц вскоре перестали поражать воображение первооткрывателей. Регистрация каждого следующего резонанса — а число их перевалило за сотню — доставляла исследователям те же эмоции, которые владеют медицинской сестрой при взгляде на длинную очередь больных.

Если бы цель и задача физики микромира заключалась только в «выписывании паспортов» для все новых и новых частиц, то больше не о чем было бы и рассказывать.

«Человек осваивает Землю, и этот процесс непосредственно связан с расширением его знаний о законах природы», — писал физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии Е. Вигнер. Следовательно, цель науки не только открытие и описание явлений и процессов, протекающих в природе. Главное — поиски закономерных связей между ними.

Несколько столетий назад были открыты и изучены три основных закона механики — закон сохранения энергии, закон сохранения импульса и закон сохранения момента количества движения. На эти три закона сохранения опирается вся классическая физика.

Открыв атомное ядро и элементарные частицы, ученые проникли в новую область природы. Здесь впервые обнаружилась ограниченность некоторых законов мак-



ромира. В микромире действовали свои, квантовые законы. Атомы и элементарные частицы тоже подчинялись трем великим законам сохранения, но описывались уже не механикой Ньютона, а механикой квантовой.

До начала XX века физики не подозревали, что существует прямая связь между тремя законами сохранения и такими простыми свойствами пространства и времени, как их однородность и одинаковость физических свойств по всем направлениям, называемая изотропностью.

Закон Ома для электрических цепей прекрасно выполняется как в московской школе, так и за тысячи километров от нее — в школах Индии. А почему этот, и любой другой, закон природы «работает» сегодня так же хорошо, как вчера, а завтра наверняка будет таким же, как и сегодня? Да все потому, что пространство и время, в которых мы живем, однородны. Их свойства везде и всегда одинаковы.

Мы никогда не обращаем внимания на это обстоятельство. Оно вроде бы нас и не касается. А судьбы законов природы — быть им или не быть? — прямо зависят от свойства однородности, симметрии, присущего пространству и времени.

Слово «симметрия» обычно вызывает ассоциацию только с образами геометрически симметричных предметов. Но понятие симметрии в общем смысле связано с единством двух противоположных моментов — сохране-

ния и изменения. Симметрия — это сохранение каких-либо элементов по отношению к определенным изменениям.

После создания теории относительности и квантовой механики неожиданно выяснилось, что все три закона сохранения, которым подчиняются макромир и микромир, всего лишь следствия более общих положений, а именно: принципов симметрии пространства и времени! И с тех пор эти фундаментальные принципы природы заняли самую верхнюю ступеньку в иерархической лестнице физических понятий.

Сперва физики не сомневались в справедливости этих принципов. Но вдруг как гром с ясного неба возникла загадка «тета-тау», как ее записали в свои анналы физики. Суть этой загадки сводилась к единственному вопросу: одна частица или две?

Виновниками загадки стали тяжелые частицы ка-мезоны. Сразу же после их открытия ка-мезоны привлекли к себе пристальное внимание физиков и получили прозвище «странных» за феноменальную способность рождаться в сильных взаимодействиях между частицами, а распадаться — в слабых. В те мгновения, когда мезоны доступны наблюдению, ученые узнали о них не меньше удивительных историй, чем иной энергичный журналист о какой-нибудь знаменитой кинозвезде за много месяцев.

Обнаружилось, что под названием «ка-мезон» скрывается сразу три типа элементарных частиц. Одни из них нейтральны — ка-ноль-мезоны, другие имеют положительный — ка-плюс-мезоны, а третьи — ка-минус-мезоны — отрицательный электрический заряд.

История первая произошла с ка-плюс-мезонами. Обычно они распадаются на более легкие частицы несколькими способами, и в этом не было ничего удивительного. Удивление вызывало вот что. По теоретическим представлениям, два из этих способов распада были таковы, будто они принадлежали не одной и той же частице, а двум разным. Соблазн приписать эти способы распада одной частице упирался в табу, исходящее из еще одного общего закона, который называется законом сохранения пространственной четности.

Четность — это математическое понятие, и его трудно объяснить с помощью одних только физических представлений. Четность — свойство специальной волновой функции, которая в квантовой механике описывает состояние элементарной частицы. А закон сохранения про-

странственной четности означает, что параметр этот не должен меняться.

Неспециалисту эти слова мало что говорят. Но эпитет «пространственная» у слова «четность» уже намекает на то, что этот закон появляется в квантовой механике как прямое следствие неизменяемости пространства при его зеркальном отражении.

Физики в прошлом уже знали, что зеркальное отражение координат, когда их знаки заменялись противоположными, а левое и правое менялось местами, микромира не касалось. Реальные процессы в микромире обладали пространственной, или, как ее называют, Р-симметрией. Казалось твердо установленным, что природа не знает, где у нее «право», а где «лево».

Но вот обнаружились новые типы распадов ка-плюс-мезонов. И это заставило физиков призадуматься. Признание того, что одна и та же частица в одних и тех же условиях распадается так, как будто у нее меняется четность, заставляло предполагать, что причиной этого являлось нарушение закона сохранения пространственной четности. Но об этом нарушении, связанном с принципом зеркальной симметрии, вытекающим, в свою очередь, из однородности пространства, было даже страшно подумать!

Поэтому физики решили считать, что существует не один сорт ка-плюс-мезонов, распадающихся двумя способами, а два с противоположной четностью, которые и распадались по-разному. Их назвали тета-мезоны и тау-мезоны.

Казалось, инцидент был исчерпан, но это не принесло спокойствия ни теоретикам, ни экспериментаторам. Ученые привыкли докапываться до самой сути, не оставляя неясностей и недомолвок. А здесь было и то и другое.

Никто не понимал, почему неразличимые экспериментально, с одинаковой массой и временем жизни тау- и тета-мезоны распадались по-разному? Может быть, это все-таки была одна и та же частица? Но тогда рушилось убеждение в незыблемости фундаментальных принципов симметрии.

«Положение, в котором очутились физики в то время, — вспоминал один из ученых, — подобно положению человека, нащупывающего выход из темной комнаты; он знает, что где-то должна быть дверь, ведущая наружу, но в каком направлении эта дверь?»

Выбраться «наружу» удалось только в 1956 году. Первыми «отыскали дверь» американские физики Ли Цзун-дао и Янг Чжень-ним. Но выбрались они через эту дверь, как всем казалось, самым неподходящим способом. Они «стерли» слова «тета» и «тау» и заявили, что существует все же только один сорт ка-мезонов — с положительным электрическим зарядом.

Это было необыкновенно смелое заявление. Два американских физика подвергли тем самым сомнению незыблемый доныне закон сохранения пространственной четности. Новая гипотеза дерзко провозглашала, что в распаде ка-мезона при слабом взаимодействии нарушалась зеркальная симметрия пространства!

Так, значит, пространство неоднородно?! В это невозможно было поверить. Ведь все другие эксперименты подтверждали строгое выполнение закона сохранения четности и в атомных явлениях, и в сильных взаимодействиях между частицами!

Ли и Янг первыми поняли, что все проверки принципа зеркальной симметрии «могут не иметь цены в этой не исследованной еще области исчезающе слабых взаимодействий».

Раскрытию существования в природе слабого взаимодействия, которое в сто миллиардов раз слабее электромагнитного, «уже сопутствовало временное сомнение в справедливости закона сохранения энергии. Помните, при каких обстоятельствах было провозглашено и открыто нейтрино? Теперь же слабое взаимодействие покушалось еще на один фундаментальный принцип природы.

Известный физик-теоретик Ф. Дайсон вспоминал, что он «прочел статью Янга и Ли еще в рукописи дважды и сказал: «Это очень интересно», или еще какие-то слова в этом роде. Но у меня не хватило воображения воскликнуть: «Бог ты мой, да ведь если это правда, то это открывает целую новую область в физике!» И я думаю, что все остальные физики, за очень небольшими исключениями, были в то время так же лишены воображения на этот счет, как и я».

Даже гипотеза, не вызывающая возражений, буквально витающая в воздухе, и та не получает права гражданства, пока не подтвердится на опыте. А что уж говорить об этой принятой в штыки идее.

Все должен был решить эксперимент, в котором прямо бы проверялась зеркальная симметрия пространства.

Путешествие в Зазеркалье

Многие уверены, что в зеркале они видят своего двойника. Но если присмотреться к нему повнимательней, то нетрудно заметить, как сильно он отличается от оригинала. У зеркального отображения приподнят правый угол рта, а не левый, да и нос у него смотрит в другую сторону. Левое и правое поменялись местами: сердце у человека из Зазеркалья находится справа, а селезенка — слева.

Человек несимметричный объект. Он не обладает пространственной симметрией и поэтому никогда не встретит в сказочной стране Зазеркалья полностью идентичного себе двойника.

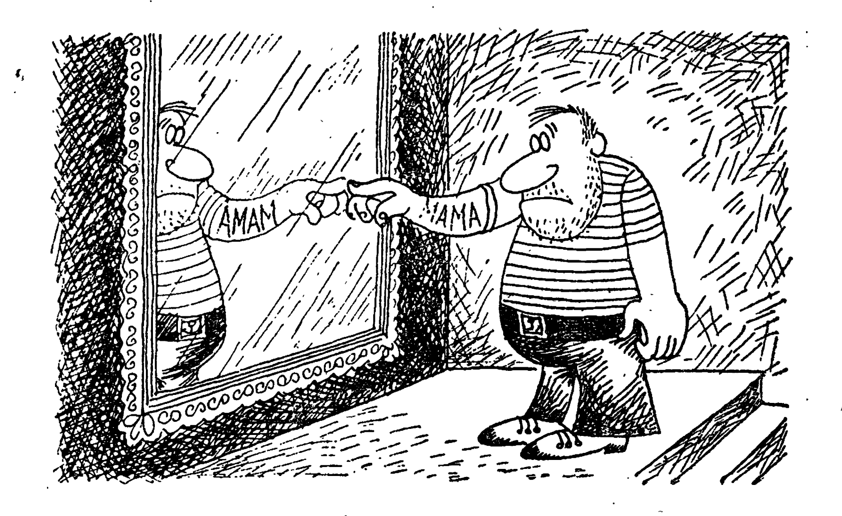
А в мире элементарных частиц, как казалось физикам, все процессы совпадают со своими зеркальными двойниками.

Теперь же, после появления гипотезы Ли и Янга, предстояло устроить «очную ставку» процессу радиоактивного бета-распада ядер (оригинал) с его зеркальным изображением. Процесс распада ка-плюс-мезонов был неудобен для такой проверки из-за их малого времени жизни — 10^{-10} секунды.

Для получения и изучения ка-мезонов понадобились сверхмощный ускоритель и огромные приборы для регистрации ядерных процессов. При участии этой впечатляющей техники и возникла знаменитая загадка «тета-тау».

Разгадка этой тайны была найдена в простом, очень тонком, как говорят физики — настольном, то есть поставленном в лаборатории, вдали от ускорителя, эксперименте. Выбор пал на радиоактивный изотоп химического элемента кобальта. Он хорошо известен тем, что дал название медицинскому прибору — кобальтовой пушке.

Давно известно, что в результате слабого взаимодействия в ядрах кобальта при его бета-распаде нейтроны самопроизвольно превращаются в протоны и одновременно вылетают из ядра электроны и нейтрино, а вслед за ними — гамма-кванты, те самые, которые используются для лечения больных. При этом электроны вылетают преимущественно вдоль оси магнитного момента ядра. До 1956 года все физики считали оба направления вдоль оси равноправными — и прямое



и обратное; ведь пространство-то однородно! Сколько электронов вылетает вправо, столько же и влево. То есть они считали, что процесс бета-распада ядра кобальта зеркально симметричен. После опытов с ка-мезонами зародилось в этом сомнение. Все надо было проверить на опыте. Но эксперимент можно было поставить лишь в том случае, если бы удалось все ядра кобальта выстроить так, чтобы магнитные моменты их совпадали с направлением внешнего магнитного поля, создаваемого катушкой. Тогда оставалось бы только сравнивать число электронов, попадающих в счетчик при одном направлении внешнего поля, с числом электронов при противоположном направлении поля. Это была бы, по сути дела, проверка существования зеркальной симметричности радиоактивного бета-распада кобальта.

Но атомные ядра не кегли, расставлять которые не составляет большого труда.

Может быть, есть еще способ ориентировки ядер? Один ученый хорошо сказал, что единственная «рукоятка», взявшись за которую можно поворачивать ядро атома, — это его магнитный момент. Но рукоятка эта так сильно сцеплена с магнитным моментом всего атома, что повернуть ее можно, только повернув весь атом.

Полгода длилась подготовка к штурму загадки «тета-тау». В специальном криостате замирали атомы ко-

бальта, замороженные до температуры на один лишь градус выше абсолютного нуля. Тепловое движение уже не могло мешать внешнему магнитному полю командовать атомным «парадом».

Руководила этим экспериментом американская ученая доктор Ву Цзянь-сюн из Колумбийского университета.

«Я помню, — рассказывал впоследствии Ф. Дайсон, — как в октябре 1956 года я встретил Янга и сказал ему: «Было бы все-таки здорово, если бы эти опыты Ву что-нибудь дали». — «Да, — ответил он, — это было бы здорово», и продолжал мне рассказывать о своих вычислениях в теории неидеальных газов. Я думаю, что даже и он в то время не понимал ясно, насколько здорово это было бы».

Эксперимент Ву, на подготовку которого было затрачено полгода, длился всего пятнадцать минут. Едва физики включили аппаратуру, как сразу же поняли, что в слабых взаимодействиях принцип зеркальной симметрии пространства нарушается. Против направления магнитного поля электронов вылетало значительно больше, чем по его направлению.

Путешествие в Зазеркалье не совершилось! Неслыханное дело! Слабое взаимодействие отличало друг от друга правое и левое направления. Обнаруженный на опыте преимущественный вылет электронов в одном направлении, как и приметы несимметричности у человека, исключал существование зеркального двойника у процесса бета-распада атомных ядер. Действительно, в обычном зеркале, назовем его «Р-зеркалом», бета-распад ядра выглядел по-другому: там электроны вылетали в основном по направлению магнитного момента ядра. А такого процесса в природе не существует.

Трудно описать волнение физиков. Теоретики пытались осознать полученный результат. Экспериментаторы принялись исследовать другие процессы, связанные со слабым взаимодействием, которые еще не проверялись на «верность» принципу зеркальной симметрии. Еще тлела надежда, что еретический результат опыта с бета-распадом в других явлениях не подтвердится.

Но все измерения приводили к одному и тому же выводу: в сильных взаимодействиях принцип зеркальной симметрии непоколебим, а в слабых не действует.

Атомная физика впервые вскрыла ограниченную при-

менимость некоторых законов механики Ньютона. И вот теперь в мире элементарных частиц обнаружилась неуниверсальность, ограниченность фундаментального принципа симметрии пространства.

Каким же теперь надо представлять наше пространство?

Неужели его идеальная однородность и его симметрия иллюзорны? И как это согласовать с тем, что все процессы в мире элементарных частиц подчиняются закону сохранения импульса, который как раз и есть следствие однородности пространства?

Первые «жертвы»

Ли и Янг оказались правы. В природе существовал только один сорт ка-плюс-мезонов, распад которых иногда не подчинялся закону сохранения пространственной четности. Принцип зеркальной Р-симметрии в слабых взаимодействиях нарушался. Слабому взаимодействию, как и другим зеркально несимметричным явлениям, вход в Зазеркалье был запрещен. Но не успели физики прийти в себя после перенесенного потрясения и обдумать возникшие вопросы, как на них обрушилась еще одна новость.

Экспериментаторы обнаружили, что позитронный радиоактивный распад другого изотопа кобальта, при котором из ядра вылетает античастица электрона — позитрон, происходит не так, как электронный: позитроны вылетали в противоположном направлении.

Новое сообщение произвело на ученых не меньшее впечатление, чем первое. Но что их так взволновало? Почему, собственно говоря, позитронный распад ядер должен происходить так же, как электронный?

А как было не волноваться, если на полном совпадении, на идентичности этих двух процессов настаивал один из основных принципов физики элементарных частиц, принцип зарядовой симметрии, или С-симметрии (от английского слова «charge» — заряд).

«Лет сорок назад, — писал Л. Окунь, — идея зарядовой С-симметрии уравнений физики казалась странной даже самим создателям квантовой механики. Одна-

ко вся структура основных уравнений требовала такой симметрии, и последующие открытия на опыте античастиц блестяще ее подтвердили».

«Аналогичные процессы с участием частиц и античастиц, — провозглашает теория, — происходят одинаково». Но теория теорией, а практика с электронами и позитронами, вылетающими в аналогичных процессах радиоактивных распадов ядер, показывает ученым, что это не так. Оказывается, в слабых взаимодействиях отсутствует не только зеркальная симметрия пространства, но и зарядовая симметрия! «Но как же можно было возводить в принцип положение, которое не проверялось на опыте?» — спросит иной читатель.

Да в том-то и дело, что проверялось, и проверялось не раз, но только не со слабыми взаимодействиями. И всплыл этот, доселе успешно скрывающийся от физиков парадокс лишь в опытах, где исследовались процессы, подчиняющиеся слабому взаимодействию.

Если нарушение зеркальной симметрии всем казалось связанным с необычными свойствами самого пространства, а частицы были вроде ни при чем, то нарушение зарядовой симметрии затрагивало уже свойства самой материи. Ведь электрон является элементарным кирпичиком обычной материи, а позитрон — элементарным кирпичиком антиматерии. Эти опыты сразу же поставили перед учеными два гигантских вопроса. Один — относительно свойств пространства, а другой — связанный, по-видимому, с различием между частицами и античастицами. Не разрешив их, невозможно было двигаться вперед.

И все-таки спустя некоторое время физикам удалось распутать этот сложнейший клубок проблем. Представьте себе, что существует такое необычное зеркало, назовем его «зарядовым», или «С-зеркалом», в котором частицы выглядят как античастицы. Тогда электроны, вылетающие при радиоактивном распаде ядра перед этим зеркалом, кажутся в нем не «зеркальными электронами», а позитронами, летящими в том же самом направлении, что и электроны. Получившаяся отраженная картина — зеркальное изображение реального процесса — еще «безжизненна», безжизненна в том смысле, что она не похожа ни на один реально существующий в природе процесс. И тогда выходит, что «С-зеркало» в слабых взаимодействиях тоже не работает.

Но постойте, ведь с чем-то подобным мы уже сталкивались раньше, когда оперировали с обычным «Р-зеркалом». В нем изображение страдало другим недостатком: электроны оставались электронами, только вылетали они в обратную, «неправильную» сторону. А что, если использовать оба эти непригодные зеркала одновременно и посмотреть, как будет выглядеть наш процесс?

Оказывается, электроны в нем станут позитронами и вылетать будут в сторону, «неправильную» для электронов, но совершенно законную для позитронов. А нам только это и надо. Наша отраженная в «СР-зеркале» картина стала вполне «жизненной». Она как две капли воды похожа на реально существующий процесс — позитронный радиоактивный распад атомных ядер.

«Изобретенное» выдающимся советским физиком-теоретиком, лауреатом Нобелевской премии Л. Ландау сдвоенное «СР-зеркало» изменяет координаты отраженных в нем процессов на противоположные и одновременно частицы превращает в античастицы. После тщательной экспериментальной проверки выяснилось, что оно безотказно действует во всех процессах, в том числе и в процессах, вызванных слабым взаимодействием.

Что же получилось? Раньше оба принципа — и зеркальной симметрии пространства, и симметрии зарядовой — считались фундаментальными принципами природы. Теперь же, после того, как они оказались дискредитированными, ученые вынуждены были отказаться от них и провозгласить один — принцип СР-симметрии, который удовлетворял всем видам взаимодействий, в том числе и слабому.

Процессы, связанные с сильным взаимодействием и симметричные относительно зеркального отражения координат и замены частиц на античастицы, подчиняются и принципу СР-симметрии.

Но для слабых взаимодействий новый принцип означал, что в любых таких процессах не только меняется знак пространственных координат, но и происходит замена частиц на античастицы. Помните, как у Пушкина: «Идет направо — песнь заводит, налево — сказку говорит». Природа как бы требовала, чтобы в слабых взаимодействиях при переходе от правого к левому «сменялась пластинка», то есть совершался переход от одного типа материи к другому.

Правое и левое оказались сцепленными с веществом и антивеществом; различие между обоими направлениями связано с различием между частицами и античастицами — вот ответ ученых на оба труднейших вопроса, возникших из решения загадки «тета-тау». Пустое пространство, отраженное и в обычном и в «СР-зеркале», остается симметричным, однородным. Если же и происходит кажущаяся утеря им зеркальной симметрии в слабых взаимодействиях, то вина в этом лежит не на пространстве, а на самих частицах.

Основное положение диалектического материализма о единстве свойств пространства и материи нашло новое конкретное подтверждение в физике элементарных частиц.

Хотелось бы напомнить, что ученые впервые обратили внимание на связь между геометрическими — пространственными — свойствами материи и ее физическими свойствами в середине прошлого века. Проблема эта возникла в науке о кристаллах. Крупнейшие кристаллографы были смущены хорошо известным экспериментальным фактом: некоторые химически идентичные вещества имели разные оптические свойства. Почему?

«В умы тех, кто размышлял над этим вопросом, — говорит в своей книге «Кристаллы, их роль в природе и науке» крупный современный кристаллограф Чарльз Банн, — запали мучительные сомнения, которые нередко способствуют новым открытиям».

Проблемой заинтересовался молодой Луи Пастер. «Я не способен был представить себе, — писал он, — чтобы два вещества могли быть настолько похожими, не будучи полностью идентичными. Едва закончив Высшую нормальную школу, я решил приготовить побольше кристаллов, чтобы изучить их форму». И вскоре Л. Пастер обнаружил, что химически одинаковые вещества состоят из кристаллов, по-разному ориентированных в пространстве.

Кристаллы эти оказались зеркальными изображениями друг друга. Они не совпадали между собой и обладали разной оптической активностью. «Открытие правой и левой виннокаменных кислот (это и было заслугой Л. Пастера) содействовало тому, что молекулы были выведены из области туманных рассуждений в весьма конкретный мир геометрии», — пишет Ч. Банн.

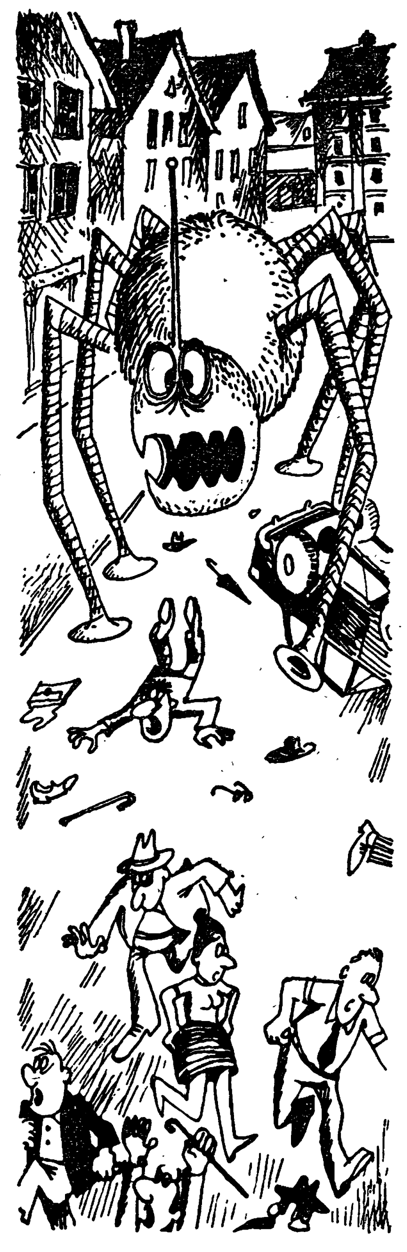
Сейчас нас больше всего интересует тот аспект этой истории, что впервые тогда в науке обнаружилась зависимость свойств материи от ее пространственной ориентации.

И вот сто лет спустя уже не в макрофизике, а в мире элементарных частиц ученые вновь столкнулись с проблемой, затрагивающей свойства пространства и свойства материи одновременно. Но проблема эта была гораздо сложней, ибо в ней участвовали не только частицы, но и античастицы.

Если Л. Пастер заметил связь между свойствами право- и левоориентированного вещества (левые и правые кристаллы), то мир элементарных частиц предоставил уникальную возможность обнаружить связь между свойствами правоориентированного вещества и левоориентированного антивещества.

Астрофизики пытаются с помощью разного типа космических излучений обнаружить антимиры в межзвездном пространстве. Писатели-фантасты сталкивают своих героев с пришельцами из таинственного антимира.

До сих пор неизвестно, существует ли антимир,



полностью аналогичный нашему миру. Но слабые взаимодействия через нарушения пространственной и зарядовой симметрии уже связали между собой элементарные кирпичики вещества и антивещества. Аналогия между принципом CP-симметрии и сдвоенным «CP-зеркалом» напрашивается сама собой. Но какое же это зеркало? Оно напоминает скорее «окно в антимир».

Если взглянуть в это зеркало вместе с нейтрино, то можно увидеть там антинейтрино: частицу без массы и без электрического заряда, которая имеет лишь собственный момент количества движения, связанный с ее вращением. Но в зеркале направление вращения нейтрино сразу меняется на противоположное и становится таким, как у антинейтрино. Как зачарованная красавица, эта частица никогда не «увидит» себя в зеркале.

Ну а электрон? Что видит он в «CP-зеркале», вылетая из радиоактивного ядра? Электрон видит свою античастицу — позитрон.

Каоновые коктейли

В августе 1964 года в городе Дубне под Москвой, где находится Объединенный институт ядерных исследований — ОИЯИ, — съехались ученые из многих лабораторий и научных институтов мира на традиционную Международную конференцию по физике высоких энергий.

Обычно ученые с нетерпением ждут очередного смотра объединенных сил теоретиков и экспериментаторов. Здесь можно обсудить свои последние результаты с коллегами из разных стран. Узнать о самых свежих, еще не напечатанных в журналах научных новостях.

Одни хотели встретиться с автором теории кварков М. Гелл-Манном, переживавшим триумф восьмеричного пути в связи с недавно открытой частицей омега-минус-гиперон. Другие мечтали услышать что-нибудь новое об экспериментах с нейтрино.

Но всех без исключения волновали слухи о предстоящем сообщении ученых Принстонского университета США. Слухи о сенсациях чаще всего бывают преувеличенными. Но на этот раз оправдались ожидания и журналистов и специалистов.

Ничто, казалось, не предвещало сенсации. Годы, прошедшие после обнаружения нарушения закона сохранения четности, все больше убеждали физиков в жизнеспособности новых представлений о свойствах пространства, материи и антиматерии.

В такой спокойной и, казалось бы, благополучной обстановке физики встретили 1964 год. И никто не ожидал, что именно в этом году посреди заботливо ухоженной «клумбы» экспериментальных результатов вдруг вырастет колким и неприглядным малиновым прутом новое осложнение — нарушение принципа CP-симметрии.

Доклад американских ученых о новом эксперименте с нейтральными ка-мезонами произвел сильнейшее впечатление. «Странные» частицы опять «замахнулись» на основы современной квантовой теории.

Директор лаборатории высоких энергий ОИЯИ, член-корреспондент АН СССР А. Балдин сказал, что опыт американских исследователей «дал максимум информации, так как изменил наши основные представления. Обнаруженный эффект настолько не укладывался в современную теорию, что он остается главным событием в физике за последние годы».

Что же открылось ученым? Прежде чем узнаем об этом, познакомимся поближе с нейтральными ка-мезонами — удивительнейшими объектами микромира, настоящими хамелеонами мира элементарных частиц.

Возьмем прибор, чувствительный только к этим частицам, и поставим его прямо на выходе их из ускорителя. Через несколько часов измерений мы узнаем, что ка-ноль-мезоны живут всего 10^{-10} секунды и распадаются на два пи-мезона.

А теперь отнесем прибор на двадцать метров дальше. Что должен регистрировать этот прибор? Казалось бы, ничего! За ничтожное время жизни, отмеренное ка-ноль-мезонам, даже при световой скорости они успевают пролететь всего несколько сантиметров, пролететь и неизбежно погибнуть, распавшись на два пи-мезона.

Но прибор, стоящий уже в двадцати метрах от ускорителя, все продолжает считать нейтральные мезоны, срок жизни которых в 600 раз больше, поскольку они успевают долететь до прибора. Да и распадаются эти долгоживущие мезоны не на два, а на три пи-мезона. Значит, поток частиц, рождающихся при столкновении

протонов большой энергии с мишенью, состоит из нейтральных ка-мезонов двух сортов.

Но это еще далеко не все. Стоит экспериментатору забыть перед счетчиком, считающим долгоживущие ка-мезоны, какой-нибудь предмет, как происходит чудо: прибор опять начинает регистрировать короткоживущие ка-мезоны. Они, как и те, что регистрировались на выходе из ускорителя, также распадаются на два пи-мезона!

Чудо объясняется просто. Оказывается, долгоживущие мезоны, столкнувшись с веществом, превращаются в короткоживущие. Подобным свойством не обладает ни одна из известных нам частиц. Нейтроны, протоны или пи-мезоны никогда не меняют своих свойств при столкновении с веществом.

В таблице элементарных частиц каждая жительница микромира занимает максимум две строчки. Первая строка принадлежит частице, вторая — античастице. И только нейтральным ка-мезонам удалось расположиться сразу на четырех строчках!

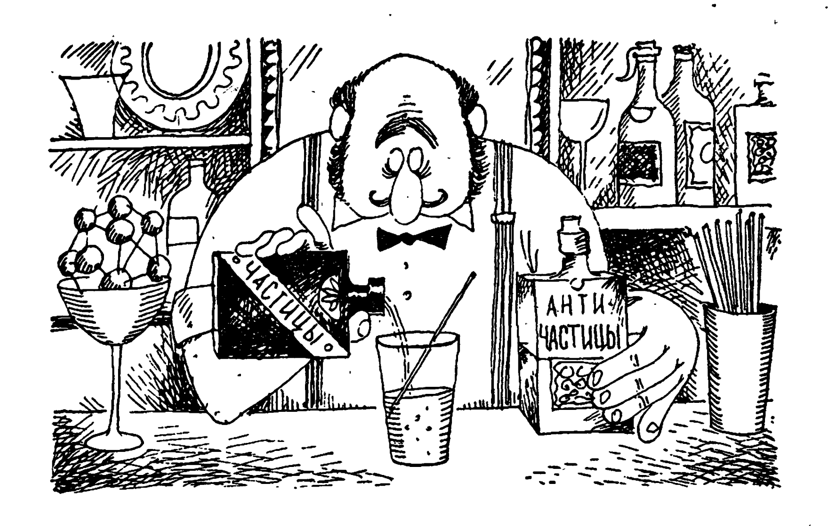
Первую, как и положено, занимает нейтральный (ка-ноль) мезон, вторую — анти-ка-ноль-мезон. На третьем месте находится уже знакомый нам короткоживущий ка-ноль-мезон. И, наконец, на четвертом — долгоживущий ка-ноль-мезон.

Экспериментаторы, как ни старались, не могли обнаружить в природе анти-ка-ноль-мезон. Ну что ж, в этом не было ничего удивительного. Нет античастицы у фотона, нет ее и у нейтрального пи-мезона. Эти частицы и по теории должны быть совершенно идентичны со своими «антиродственниками».

Но когда М. Гелл-Манн создал свою классификацию элементарных частиц, у него получилось, что ка-ноль-мезоны должны все-таки отличаться от анти-ка-ноль-мезонов. Проницательный Э. Ферми сразу же спросил у него: «Как вы можете представить себе ка-ноль и анти-ка-ноль различными, если они распадаются неразличным образом?»

«Как теперь ясно, — пишет в воспоминаниях Б. Понтекорво, — в этих словах скрыта глубокая догадка о дуальных — двойственных — свойствах нейтральных каонов». (Каонами физики называют ка-ноль-мезоны.)

Встречи частиц и античастиц между собой происходят крайне редко. Лишь незначительная доля протонов



или электронов встречается со своими антидвойниками. Объясняется это тем, что материя и антиматерия всегда разделены в пространстве. Только в момент их первого (и последнего) в жизни свидания некоторые частицы и античастицы ненадолго образуют связанную систему. Так электрон и позитрон до аннигиляции в виде атома — позитрония — успевают помочь ученым в решении некоторых химических задач.

Однако анти-ка-ноль-мезонов не было нигде — ни в космических лучах, ни среди частиц, рождающихся на ускорителях. Но они должны быть! — настаивала теория. И один опыт сменялся другим, настойчивые поиски продолжались. Продолжались до тех пор, пока физики однажды не поняли, что искать-то, собственно, нечего. Все было просто и одновременно фантастически необычайно.

Слабые взаимодействия как бы «сблизили» мир и антимир. Они связали нарушение зеркальной симметрии пространства с различием между частицами и античастицами, например, в знаке электрического заряда. В нейтральных ка-мезонах мир и антимир сосуществуют бок о бок вплоть до их распада. Они не что иное, как смесь частиц и античастиц. И не одна, а целых две смеси — два строго согласованных, уравновешенных состояния с определенной массой, с постоянным временем жизни и другими квантовыми свойствами.

Одну смесь ученые назвали нейтральными короткоживущими, а другую — долгоживущими ка-мезонами.

Вот эти-то «коктейли», тщательно приготовленные природой из двух одинаковых компонентов, и продемонстрировали свое несогласие с принципом СР-симметрии.

Театр одного актера

В чем же заключалась сенсационность сообщения, сделанного в Дубне на Международной конференции?

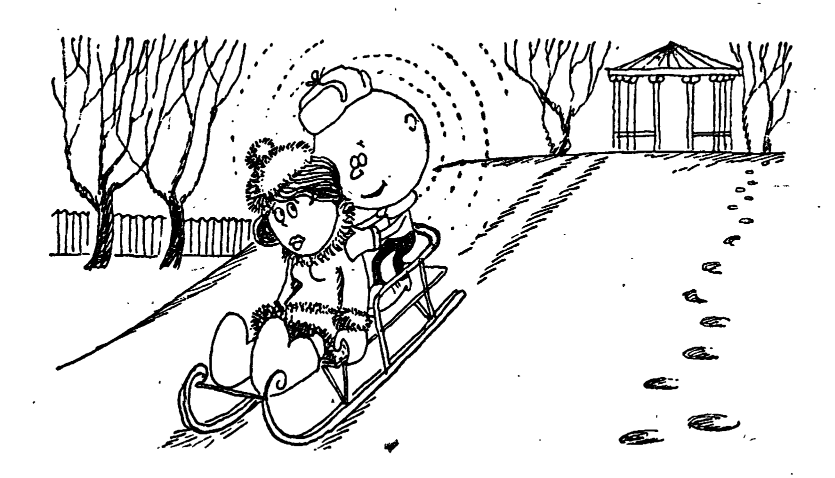
В Принстонском университете американские физики Кристенсон, Кронин, Фитч и Турлей изучали свойства рождающихся на ускорителе долгоживущих ка-мезонов. Ученые расположили свою установку на расстоянии двадцати метров от выхода мезонного канала, чтобы полностью избавиться от всех быстро распадающихся короткоживущих ка-мезонов.

Во время работы физики обратили внимание, что очень редко — один раз на 500 обычных распадов — долгоживущие каоны нарушали запрет, наложенный принципом СР-симметрии, и распадались на два пи-мезона. По законам делать это они «не имели права». Американские же физики обнаружили именно такие случаи распада. Значит, не работает также и «СР-зеркало»?

И опять всплывает неэквивалентность между правым и левым, которую уже не объяснишь различием между частицами и античастицами.

Ученые реагировали на это открытие по-разному. Скептики напирали на ошибку в измерениях или обработке результатов. Другие ссылались на то, что эксперимент проводился не в вакууме, а в воздухе, а на последнем этапе мезоны проходили еще и через баллон с гелием. Встреча же с любым веществом криминальна для нейтрального каона: сталкиваясь с веществом, каоновые «коктейли» так сильно встряхиваются, что долгоживущая смесь частиц и античастиц превращается в короткоживущую и потом уже законным путем распадается на два пи-мезона.

Обвинение было серьезным, началась тщательная проверка. Экспериментаторы из Принстона поставили специальный контрольный опыт, который показал, что подобные превращения долгоживущих ка-мезонов про-



исходят в 10^6 раз реже, чем зафиксированные раньше запретные распады.

Прошло еще немного времени, и измерения, сделанные в разных группах с помощью совершенно иной экспериментальной методики, подтвердили этот факт. Последние сомневающиеся вынуждены были согласиться с достоверностью обнаруженного явления.

Странное открытие снова возвращало ученых к «разбитому корыту», к непониманию того, почему однородное пространство не обладает зеркальной симметрией в слабых взаимодействиях. Надо было действовать. И ученые, как следователи, раскрывающие преступление, стали искать среди «граждан» микромира других лиц, ведущих себя так же, как нейтральные ка-мезоны.

Скрупулезной проверке подверглись распады гиперонов и мезонов, распады ядер и ядерные реакции. Но нигде, ни в одном явлении нарушения принципа CP-симметрии обнаружить не удалось. Нейтральные ка-мезоны действовали в одиночку.

В этом отношении ситуация резко отличалась от той, которая была при открытии нарушения зеркальной симметрии. Тогда опыты с положительно заряженными ка-мезонами послужили сигналом к поднятию занавеса, за которым обнаружилась большая группа участников «заговора» против закона сохранения четности. Это были процессы, идущие при слабом взаимодействии элементарных частиц.

Но теперь за занавесом оказался всего один-един-

ственный актер — долгоживущий нейтральный ка-мезон, который даже не подчинялся режиссерским указаниям CP-симметрии. А слабые взаимодействия если и были повинны, то лишь в «приготовлении» самих ка-мезонных «коктейлей» из смеси частиц и античастиц.

Как же относиться к этой индивидуальности единственного гражданина микромира? Может быть, юмористически? Может быть, прав академик И. Тамм, который полагал, что история долгоживущего ка-мезона напоминает известную историю, связанную с нейтрино и законом сохранения энергии? И что в конечном счете CP-симметрия окажется незыблемой?

Но физикам не до смеха, и не из-за отсутствия чувства юмора. Время идет, а «номер» иллюзиониста — ка-мезона все еще не разоблачен. А намекает он на очень многое. Помните, как не смешно было чеховской Наденьке, которая никак не могла понять: то ли ветер свистит в ее ушах, то ли сосед в санках шепчет ей о любви. А что нашептывает ка-ноль-мезон?

Спасая фундаментальный принцип симметрии пространства, физики для начала обвинили во всем внешние дальнодействующие силы, источниками которых могли быть Земля, Солнце или Галактика. Но эксперименты противоречили этой гипотезе, и от нее пришлось отказаться.

Есть и другая мысль, которая сейчас проверяется. А что, если необычный распад нейтрального каона вызывается гипотетическим сверхслабым взаимодействием?

Так или иначе, но вопрос: почему долгоживущие ка-мезоны распадаются на два пи-мезона? — остается кардинальнейшим вопросом современной физики.

«Сущность этого явления непонятна, — говорит член-корреспондент АН СССР Ф. Шапиро. — Но это такое радикальное изменение наших взглядов, что когда-нибудь, я думаю, отсюда проистекут далеко идущие последствия для всего здания физики».

Утерянный рай

«Странные» положительно заряженные ка-мезоны первыми сыграли сигнал опасности для фундаментального принципа симметрии пространства. Эту опасность

удалось ослабить, приняв «ультиматум» слабых взаимодействий — заменять частицы античастицами при зеркальном отражении.

Нарушение то пространственной, то зарядной симметрии в слабых взаимодействиях болезненно воспринималось физиками. Но одновременное нарушение и С- и Р-симметрии затрагивало уже самые основы современной физики.

Любое уравнение квантовой механики симметрично не только относительно изменения знака у всех координат (Р-симметрия) или к замене частиц на античастицы (С-симметрия), но и к изменению направления времени. То есть к «обращению во времени».

Эта временна́я, или, как ее обозначают, Т-симметрия утверждает «вечную молодость» процессов микромира. Т-симметрия означает отсутствие «стрелы времени», как поэтически говорят о направленности времени в макромире. К миру элементарных частиц неприменимо понятие «старение». Есть только равноправные друг другу прямое и обратное направления процесса.

Нам пришлось вспомнить об этом потому, что в основе современной квантовой теории элементарных частиц лежит теорема СРТ. Смысл ее в том, что все процессы должны одновременно подчиняться принципу пространственной — Р-, зарядовой — С- и временно́й — Т-симметрии. Другими словами, любое явление в микромире, если его отразить в зеркале, частицы в нем заменить на античастицы, а конечное состояние заменить начальным, то есть изменить направление времени, должно превратиться в явление, тоже реально существующее в природе.

До экспериментов с ка-мезонами никто не сомневался, что все три типа симметрии как вместе, так и по отдельности — это строгие законы природы. Но первые два уже утеряли свою универсальность. Чем это грозит?

Если нарушается СР-симметрия, а Т-симметрия остается, то рушится вся теорема СРТ. Она, эта общая СРТ-симметрия, может остаться в силе лишь в том случае, если нарушаются одновременно СР- и Т-симметрии.

Так, лишившись двух фундаментальных законов, физики «добровольно» отказываются от третьего. Более того, они стараются доказать его нарушение, чтобы спас-



ти основы теории. Имеет ли время власть над микромиром?

Выяснить это намного сложнее, чем в макромире. Временная Т-симметрия накладывает запрет на некоторые физические явления. Например, у элементарных частиц не должно быть электрического дипольного момента. Можно представить, что нейтрон состоит из положительного и отрицательного зарядов, центры тяжести которых раздвинуты. Отсюда возникает электрический дипольный момент. Если ядерные процессы обратимы, то этот момент у нейтрона должен быть равным нулю.

В лаборатории нейтронной физики дубненские ученые давно уже ищут возможность для проникновения в тайну электрического дипольного момента частиц. Во всех прежних экспериментах он не был обнаружен. Но сказать, что момент этот равен нулю, пока что никак нельзя — точность опыта еще недостаточно высока. Нейтроны так быстро проскакивают рабочий объем установки, что очень малое их количество распадается за это время. Даже медленные, или тепловые, нейтроны и те движутся со скоростью два километра в секунду. Нейтронный «шквал» за ничтожные доли секунды пересекает весь прибор, а для измерения дипольного момента очень важно, чтобы нейтрон как можно дольше находился в поле зрения наблюдателей, «в руках экспериментаторов».

Ведь за это время надо изучить его поведение под действием электрических и магнитных полей.

Возникла, таким образом, необходимость в нейтронах гораздо более медленных, чем тепловые. Именно такие ультрахолодные нейтроны, со скоростью несколько метров в секунду, встречаются среди частиц, вылетающих из ядерного реактора. Но их очень мало: на сто миллиардов всех нейтронов приходится только один ультрахолодный.

Вот если бы собрать да законсервировать эти нейтроны, тогда и эксперимент по измерению дипольного момента можно было бы провести с высокой точностью.

И эта, казалось бы, фантастическая идея оказалась практически выполнимой. Около двадцати лет назад итальянский ученый Э. Ферми и советский физик-теоретик И. Померанчук показали, что ультрахолодные нейтроны должны полностью отражаться от поверхности некоторых веществ.

Десять лет спустя академик Я. Зельдович теоретически доказал, что, используя свойство отражения, можно «выловить» ультрахолодные нейтроны из реактора и накопить их в специальной ловушке в количестве до ста миллионов в одном кубическом метре!

В это трудно было поверить. Ведь нейтроны довольно проникающие частицы, а тут предсказывалось, что они не смогут покинуть ловушку, сделанную из тончайшей медной фольги.

Необыкновенное поведение ультрахолодных нейтронов объяснялось их волновыми свойствами. Длина волны этих частиц равна одной стотысячной доле сантиметра. Но в микромире даже она кажется Гулливером среди атомов-лилипутов. Поэтому, падая на поверхность вещества, волна взаимодействует одновременно с большим числом ядер атомов меди. И хотя энергия такого взаимодействия очень мала, она все-таки того же порядка, что и энергия самих ультрахолодных нейтронов. Вот почему уже первые слои атомных ядер фольги создают на пути волны ультрахолодных нейтронов непреодолимый энергетический барьер. Ударяясь о него, как морская волна о крутой берег, она откатывается назад.

Группа ученых лаборатории нейтронной физики ОИЯИ под руководством Ф. Шапиро уже приступила к

созданию «консервов» из нейтронов. Их задача формулировалась очень просто: найти и отобрать иголки — ультрахолодные нейтроны — в стоге сена, то есть среди сотен миллиардов всех остальных нейтронов.

В поток нейтронов, выходящих из атомного реактора, экспериментаторы поместили медную трубу, изогнутую на удаленном от реактора конце. Тепловые нейтроны, летящие с огромной скоростью, «прошивали» стенки трубы в месте ее изгиба и мчались дальше. Ультрахолодные же, попав в трубу, уже не могли из нее выбраться и превращались в ее пленников. Как слепые котята, тыкались они в стенки и, отражаясь от них, ползли вдоль трубы, следуя ее изгибам.

Экспериментаторы узнали об этом, поместив на изогнутом конце трубы счетчик. Он и зарегистрировал нейтроны, находившиеся в трубе около 200 секунд!

Когда ученые научатся создавать «консервы» из достаточного количества нейтронов, они смогут с большой точностью измерить дипольный момент нейтрона.

В десятках лабораторий мира ставятся опыты по проверке нарушения временно́й симметрии. Но окончательного ответа пока еще нет.

Давайте же пофантазируем и предположим, что нарушение принципа T-симметрии обнаружено. Теория CPT будет тогда спасена, но какой ценой! Ведь опять всплывает непонятная неэквивалентность правого и левого, неэквивалентность прямого и обратного направлений времени, неэквивалентность частиц и античастиц. Придется признать, что микромир «грешен» теми же асимметриями, с которыми мы давно уже свыклись в нашем макромире.

В мире, доступном нашим органам чувств, мы постоянно сталкиваемся с предметами, которые не обладают зеркальной симметрией. Не надо далеко ходить за доказательствами: наше собственное зеркальное отражение только похоже на нас.

Из чего состоим мы с вами и все, что нас окружает? Из протонов, нейтронов и электронов. И вокруг нет ничего и никого, кто бы состоял из антипротонов, антинейтронов и позитронов. Налицо зарядовая асимметрия макромира.

О времени же и толковать нечего. Безжалостная его стрела направлена всегда только вперед.

Никогда никого
Не зовите обратно.
Обратимость — вранье,
Суть движенья злорадна,
Ни его, ни ее
Не отдаст вам обратно.

И. Снегова

В чем же, наконец, смысл этой обнаруженной с помощью физики высоких энергий похожести, этой совпадающей асимметрии нашего обычного мира и мира сверхмалых масштабов? Какова связь между нарушением С-, Р- и Т-симметрии в макро- и в микромире? Отвечают ли СРТ-симметрии микромира СРТ-симметриям макромира?

Оба эти вопроса, говорят ученые, уводят задающего их в глубины космологии. Ведь и зарядовая и временная асимметрии окружающего нас мира являются следствиями особых «начальных» условий, существовавших во вселенной примерно 10^{10} лет назад.

* * *

Нарушение пространственной и зеркальной симметрий в слабых взаимодействиях, непригодность «СР-зеркала» для небольшого числа распадов нейтральных ка-мезонов... Так ли уж важны эти мизерные отклонения на беспредельном фоне сильных взаимодействий, обладающих и С-, и Р-, и СР-симметрией? На фоне тех самых сил, что удерживают нуклоны в ядрах и которым подчиняется подавляющее большинство мельчайших кирпичиков материи? И почему, наконец, физики с таким усердием исследуют эти небольшие нарушения симметрии в микромире?

«Да потому, — говорит доктор физико-математических наук Д. Франк-Каменецкий, — что в науке нет мелочей. Она обязана объяснить все до конца, а каждое еще не понятое явление может таить целый океан неведомого. Ничтожное черное пятнышко на фотопластинке, лежавшей рядом с препаратом урана, оказалось предтечей всей ядерной физики и техники».

У физиков уже сложилось впечатление, что мир в общих чертах прост, но в частностях очень сложен. Самый страшный симптом сложности — это нарушение симметрии. Ведь все простое симметрично.



О том, как окончательно отразятся на современном миропонимании рассказанные здесь истории, пока неизвестно. Это замечание справедливо и по отношению к третьей загадке, которая еще и не стала историей.

Новая, только что обнаруженная физиками «загадка $K^{\circ}_2 \rightarrow 2\mu$», опять-таки, как нетрудно заметить, задана уже знакомыми нам ка-мезонами.

Группа американских ученых из Калифорнийского университета изучала на бэватроне Лоуренсовской радиационной лаборатории распад долгоживущих нейтральных тяжелых мезонов. По теории, основанной на самых простых и, казалось бы, надежных предпосылках, как минимум один из 150 миллионов зарегистрированных в установке тяжелых мезонов должен превращаться в пару легких частиц — мю-мезонов с положительным и отрицательным знаками электрического заряда. А экспериментаторы обнаружили, что вероятность такого процесса, по крайней мере, в три раза меньше. Что это означает?

Именно такой вопрос с редким единодушием задали многие физики,

узнав из журнала «Physial Review Letters» о сенсационных результатах опытов на бэватроне.

Но ответа на него пока нет. Возможно, «парадокс $K^{\circ}_2 \to 2\mu$» и вовсе не парадокс, а только новый эффект проявления нарушения СР-симметрии. Доказательством этого послужило бы обнаружение распада короткоживущих нейтральных ка-мезонов на две легкие заряженные частицы.

«Но если в опыте таких распадов не обнаружат, — считает член-корреспондент АН СССР А. Балдин, — то катастрофа усугубится. Сейчас это самая острая проблема в физике элементарных частиц».

На ускорителе в ЦЕРНе уже поставлен эксперимент, в котором на $4 \cdot 10^7$ распадов короткоживущих ка-мезонов не обнаружено ни одного случая распада на два мю-мезона.

Дополнительные теоретические соображения еще как-то могут оправдать отсутствие такого процесса с вероятностью порядка 10^{-7}. Но если этот распад происходит еще реже, то это приведет, по-видимому, к новым «жертвам» среди фундаментальных принципов природы.

В решении «загадки $K^{\circ}_2 \to 2\mu$» приняли участие лучшие экспериментаторы. К исследованию распадов долгоживущих и короткоживущих тяжелых мезонов ученые приступили на ускорителе в Брукхэвене, в Беркли и в Аргонской национальных лабораториях США.

Группа ученых под руководством кандидата физико-математических наук И. Савина из лаборатории высоких энергий ОИЯИ тоже готовится теперь к атаке новой открывшейся перед физиками «высоты».

ВЕЛИКИЕ НАДЕЖДЫ

Наука — это здание, а не груда кирпичей, сколь бы ценной ни была эта груда.

Е. Вигнер

Конфликт или взаимное понимание?

«Я думаю, что открытие, подобное ньютоновской динамике или квантовой механике, вряд ли будет сделано раньше, чем через сто лет, — писал в 1958 году известный физик-теоретик Ф. Дайсон. — Мой взгляд состоит в том, что мы так же далеки от понимания природы элементарных частиц, как последователи Ньютона были далеки от квантовой механики. Вполне может случиться, что все опыты, которые могут быть сделаны на ускорителях путем взаимных столкновений различных частиц, какие только можно придумать, будут сделаны; все результаты будут тщательно запротоколированы и собраны, а мы все еще не будем иметь никакого понятия о том, что же происходит».

А вот более оптимистическое мнение лауреата Нобелевской премии академика И. Тамма, высказанное им в 1966 году: «Я не согласен с американским теоретиком Ф. Дайсоном. Трудности построения новой теории, которая должна включить в себя как частный случай все, что нам известно до сих пор, очевидны. Тем не менее Ф. Дайсон не учитывает экспоненциального роста науки в наше время, не учитывает, что все большее количество людей занимается физикой. Эйнштейн — редкая флюктуация, но на фоне чрезвычайно возросшего сейчас числа специалистов появление нового гения становится гораздо более вероятным».

А вот какого взгляда придерживается академик В. Гинзбург. В начале 1971 года на семинаре в Физическом институте АН СССР он сказал: «В области тео-

рии, как мне кажется, говорить о каком-то подлинном успехе не приходится. Так дело обстоит уже десятилетия, и никто не может предсказать, когда же, наконец, «лед тронется». Но когда-то это произойдет, и, несмотря на все разочарования, этого исторического события продолжают ждать с неослабевающим и напряженным вниманием».

Эти откровенные высказывания крупнейших ученых-физиков познакомили нас с главной и самой трудной проблемой — проблемой построения теории элементарных частиц.

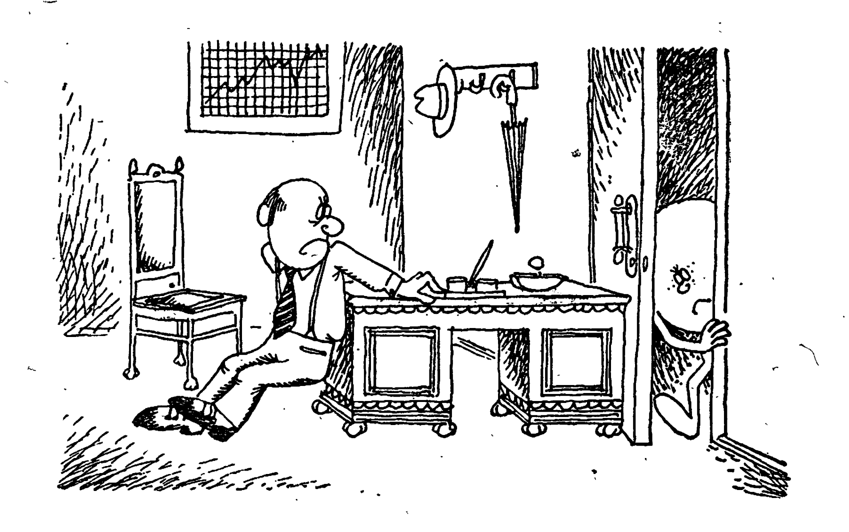
К сожалению, сегодня, как и несколько лет назад, остаются справедливыми слова Р. Оппенгеймера, что «пока мы не понимаем природы материи, законов, которые управляют ею, и языка, на котором следует ее описывать».

Ни для кого не секрет, что с тех пор, как были открыты первые частицы, наука сделала огромный скачок вперед. Вооруженные гигантскими ускорителями, исследователи вторгаются ныне в самые глубокие, заповедные области явлений. Уже пишутся популярные книги о свойствах элементарных частиц, о том, как удалось создать единую классификацию для многих «граждан» микромира. Открыты новые законы природы, например, закон сохранения барионного числа — тот самый, благодаря которому мы существуем, ибо именно он запрещает протонам и нейтронам распадаться на более легкие частицы. Уже нашли практическое применение в химии и физике твердого тела мю- и пи-мезоны.

Наконец, с помощью элементарных частиц анализируются великие принципы природы — симметрия пространства и времени. О каком же непонимании законов и языка природы идет речь?

Квантовая теория не содержит даже намека на существование огромного и пестрого мира элементарных частиц. Физики были настолько не подготовлены к встрече с этим миром, что поначалу отчаянно сопротивлялись признанию каждой очередной частицы.

«Припоминаю, — сказал недавно П. Дирак, — как в те давние времена я беседовал с людьми, работавшими в лаборатории Кавендиша, и наблюдал путь частиц в магнитном поле. Они говорили, что иногда наблюдают, как электрон возвращается в источник. У эксперимента-



торов было перед глазами доказательство существования этих новых частиц (позитронов), но они не были в состоянии оценить то, что видели».

А история открытия нейтрона? Боте и Бекер в Германии, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри во Франции уже держали в руках нейтроны, но правильно оценить новое явление сумел лишь ученик Э. Резерфорда Д. Чедвик, знакомый с идеей своего учителя о существовании тяжелой нейтральной частицы.

Наконец, психологический барьер был преодолен, последствия первоначального шока ликвидированы, но к чему это привело — мы уже знаем: ученые из огня попали в полымя.

«С тех давних времен обстановка совершенно изменилась, — говорил П. Дирак, — теперь непрерывно в огромном количестве предполагаются и предлагаются новые частицы. Люди с великой готовностью публикуют доказательства существования новой частицы — независимо от того, добыта ли она путем эксперимента или же благодаря какой-нибудь плохо обоснованной теоретической идее».

Но почему возможно подобное положение вещей? Да потому, что современная теория не может подсказать, когда нужно подводить черту под списком элементарных частиц. Несколько сотен разновидностей! Это плохо звучит; и физики давно допытываются, какие же

из них действительно элементарные, а какие — только представляются ими.

И нет никакой помощи от теории. Да и как этой помощи быть, если сама теория не знает самого значения слова «элементарный» для микромира!

Физики ощущают, что когда-нибудь все недоразумения микромира приведут к фундаментальной революции в теории, к серьезному пересмотру представлений и понятий. Будет создана новая теория, которая, исходя из нескольких общих принципов, объяснит все многообразие частиц с подробным описанием этикета взаимодействия между ними. Заглянув в эту теорию, мы сможем тогда предсказать, что произойдет при столкновении любых элементарных частиц.

Вот та программа-максимум, которая стоит сегодня перед теоретической физикой.

Простак или гений?

Можно долго говорить о том, какой представляется ученым новая теория элементарных частиц. Некоторые предполагают, что ее уравнения в сжатом виде будут содержать всю физическую картину природы и включать все известные свойства материи.

Выдающийся советский ученый и историк науки С. Вавилов еще в 1944 году писал, что «физика есть наука о простейших формах материи. Ей, по существу дела, свойственна некоторая тенденция к упрощенному подходу к явлениям». С. Вавилов предостерегал физиков от слишком пылких мечтаний о том, что «учение об элементарных частицах вещества должно объяснить не только элементарные формы явлений, но в конце концов и вселенную в целом».

Какой в действительности окажется новая теория — покажет будущее, а нам пора вернуться к сегодняшним заботам теоретиков.

Почему вдруг «подкосились» ноги у квантовой механики и она не взяла добавочный вес — физику элементарных частиц? Надо сказать, что упрек этот относится не совсем к квантовой механике. С самого начала она предназначалась для описания атомных явлений и прекрасно справляется с этим и по сей день. Упрек этот от-

носится к выросшей из квантовой механики теории элементарных частиц.

Основы квантовой теории поля создавались крупнейшими учеными мира, такими, как В. Гейзенберг, В. Паули, П. Дирак, В. Фок. П. Дирак на основе квантовой механики и теории относительности впервые получил уравнение для электрона, движущегося почти со скоростью света. Это то самое уравнение, из которого физики узнали о существовании позитрона.

Для описания удивительных свойств элементарных частиц, их взаимопревращаемости, возникновения в ядерных реакциях, их исчезновения теоретики создали специальный математический аппарат — метод вторичного квантования. Но метод — это еще не теория. Теория должна описывать взаимодействия между частицами.

Постепенно возникла квантовая электродинамика — та часть квантовой теории поля, которая имела дело только с электромагнитными взаимодействиями элементарных частиц. Ее часто называют прообразом теории элементарных частиц. Квантовая электродинамика превосходно справляется со своей задачей и сегодня, когда исследуются электромагнитные взаимодействия между частицами огромных энергий.

Но столь же хорошей теории для сильных взаимодействий создать пока не удалось. Сначала казалось, что построить ее можно аналогично квантовой электродинамике. Только там частицы обмениваются фотонами, а здесь пи-мезонами — вот и вся разница.

Внешне все так и выглядит. Однако сильные взаимодействия между частицами на малых расстояниях в тысячи раз интенсивнее электромагнитных, и заканчиваются они нередко рождением вороха новых частиц. А в теории появляются бесконечные цепочки уравнений. С математической точки зрения теория становится кошмарно трудной, и если допустить, что она верна, никто не знает, как найти точные решения получаемых уравнений.

На вопрос, что же мешает созданию новой теории элементарных частиц, Д. Блохинцев ответил: «Нам трудно сейчас решить, в чем дело: не хватает глубины понимания явлений, идеи, которая могла бы пролить свет на весь огромный комплекс фактов, или не хватает самих фактов? Если бы были обнаружены какие-то глу-



бокие противоречия с теорией относительности или с квантовой механикой, это событие дало бы толчок колоссальной силы для новых идей».

Нельзя отбрасывать и другой возможности. Пока что «горы» экспериментальных материалов действительно не дают никаких серьезных указаний на то, в каких направлениях вести поиски будущей теории. Более того, они сами еще ждут теоретической интерпретации.

«Но, говоря между нами, физиками-теоретиками, как мы используем результаты этих исследований? Никак. А может быть, результаты экспериментов принесут нам несколько идиотских сюрпризов, а какой-нибудь простак сумеет получить их теоретически из какого-то элементарного правила?»

Конечно, простак, о котором говорит физик-теоретик Р. Фейнман, был бы сродни гению, сумевшему понять особенность мира элементарных частиц по имеющимся сведениям. И в истории физики, и в истории других наук можно найти немало примеров, когда великие открытия делались только в результате нового подхода к известным фактам.

Сто лет назад немецкий коммерсант Г. Шлиман по-новому прочел известную всем с незапамятных времен «Илиаду» Гомера. Вопреки бытовавшим тогда мнениям он отнесся ко всем описываемым там событиям как к реально существовавшим. Скрупулезно следуя описа-

ниям Гомера, Г. Шлиман откопал Трою и нашел сокровища царя Приама.

А выдающаяся археологическая находка, сделанная Г. Картером и лордом Карнарвоном в 1922 году! Они нашли гробницу Тутанхамона, буквально до отказа заполненную бесценными изделиями мастеров Древнего Египта, в Долине царей, давно перекопанной вдоль и поперек. Известные археологи того времени считали, что в долине невозможны никакие новые находки, потому что там не осталось ни одной песчинки, которую бы по меньшей мере трижды не переместили с одного места на другое. Однако по ранее найденным другими исследователями предметам с именем Тутанхамона и сосудов со свертками полотна Г. Картер и Карнарвон после ряда неудачных попыток наконец правильно установили предполагаемое место гробницы Тутанхамона, а затем и нашли ее.

Нечто аналогичное вполне может произойти и в физике высоких энергий. Когда?

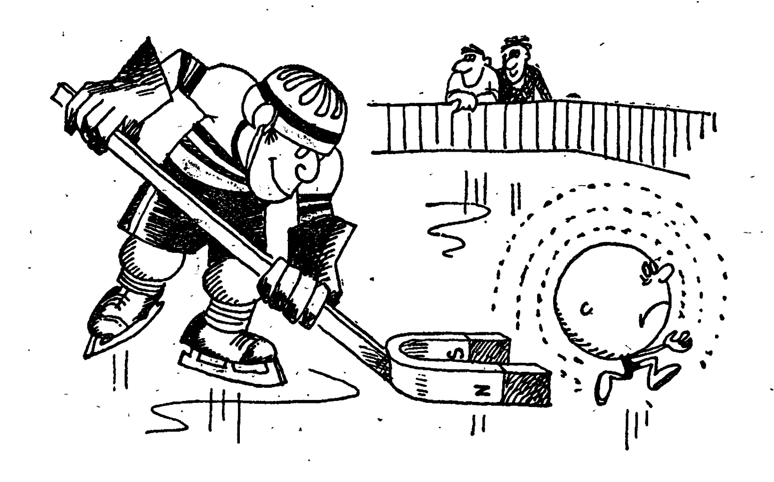
Этого никто не знает.

Говорит Серпухов

За окном машины неожиданно возник и так же быстро пропал старинный русский город Серпухов. Еще десять минут езды — и перед нами город физиков Протвино, где в ночь на 14 октября 1967 года впервые заработал самый мощный в то время ускоритель элементарных частиц. Семьдесят миллиардов электронвольт энергии набирают протоны, мчащиеся в его кольцевой вакуумной камере длиной около полутора километров!

В кольцевом зале, скрытом от человеческих глаз и засыпанном землей для защиты от радиации, собран магнит ускорителя. С его помощью физики удерживают внутри ускорителя сотни миллиардов ядерных снарядов колоссальной энергии, скорость которых почти достигает скорости света.

Сто двадцать блоков, каждый длиной 11 метров, с общим весом около 30 тысяч тонн — вот главный «диспетчер», следящий за правильным движением протонов. Для сравнения скажем, что магнит Дубненского уско-



рителя на энергию в 10 миллиардов электрон-вольт (10 Гэв) вдвое тяжелее. Это объясняется тем, что «диспетчер» Серпуховского ускорителя более высокой «квалификации», так как использует принцип жесткой фокусировки частиц. Как хоккеист ведет шайбу, ударяя по ней клюшкой то справа, то слева и не давая шайбе уклониться от намеченного направления, так и магнит Серпуховской машины ведет ускоряемые им протоны по узенькой кольцевой дорожке шириной всего 16 сантиметров. Отсюда и происходит выигрыш в массе самого магнита.

Но такое отличное владение протоном возможно лишь при одном непременном условии: относительные отклонения значений магнитного поля от блока к блоку не должны превышать величины 10^{-4} (одной десятитысячной).

Мы до сих пор восхищаемся искусством строителей пирамид Древнего Египта. Нас поражает мастерство древних каменотесов. Огромные блоки так тщательно пригнаны друг к другу, что между ними не вставить и листка бумаги. И все это уживалось с небрежностью отделки внутренних стен, сборки саркофагов — тех мест, которые никто не видит.

Здесь же, в ускорителе, не сделаешь небрежно то, что не видно: машина в противном случае просто не заработает. А ускоритель заработал сразу, с первого включения. Значит, строители добились отклонения зна-

чений магнитного поля у разных блоков меньше одной десятитысячной. Хотя известно, что даже сталь из разных плавок имеет несколько большее отличие в магнитных свойствах.

Каждый из 120 магнитных блоков собирался из тщательно перемешанных стальных листов толщиной 2 миллиметра, полученных из разных плавок. В результате магнитных измерений выбрали оптимальный вариант расстановки магнитных блоков по кольцу ускорителя. Для устойчивой работы все магнитные блоки весом по 240 тонн надо было установить с точностью до 100 микрон. Это проблема, которую даже представить себе трудно. Но и она была решена с помощью специальных геодезических методов.

В конце концов все трудности остались позади, и физики получили новый сверхмощный «микроскоп» для изучения микромира. На что же они должны были его направить?

Не надо забывать, что теория элементарных частиц, как дом на фундамент, опирается на несколько основных аксиом и постулатов, представляющих собой естественное обобщение квантовой механики и теории относительности. Поэтому и решено было с помощью нового «микроскопа» прежде всего проверить самые основы теории.

Еще в 1956 году академик Н. Боголюбов, ныне директор ОИЯИ, доказал, что так называемые дисперсионные соотношения — связывающие величины, непосредственно измеряемые на опыте, — вытекают из общих принципов современной теории.

Какая уникальная возможность! При измерении полной вероятности взаимодействия частицы с веществом и вероятности рассеяния ее на малые углы одновременно проверялись основные постулаты теории. Протягивалась тем самым ниточка связи между фундаментом современной физики и экспериментами в мире элементарных частиц.

Спустя два года член-корреспондент АН СССР И. Померанчук получил еще одно из фундаментальных соотношений. Теорема Померанчука тоже связывала исходные аксиомы с экспериментом.

На Дубненском синхрофазотроне дисперсионные соотношения были проверены до энергии 10 Гэв. Никаких противоречий там не обнаружилось, но кое-что было

пока не ясно. Теорему Померанчука опыт не подтверждал, но это никого не удивляло. В теореме говорилось, что при больших энергиях частицы и античастицы должны с одинаковой вероятностью взаимодействовать с одной и той же мишенью. Но какую область энергий надо считать достаточно высокой, было неизвестно. Оставалась надежда, что теорема подтвердится в будущих экспериментах.

Понятно, с каким нетерпением ждали и теоретики и экспериментаторы вступления в строй нового, более мощного ускорителя. Серпуховской гигант предоставлял в их распоряжение не только протоны с рекордной энергией. Это была настоящая фабрика для производства уникальной продукции вторичных частиц: пи- и ка-мезонов, антипротонов, нейтрино.

Основы теории можно было проверить сразу на разных сортах частиц. И одним из самых удобных объектов для этой цели оказались уже известные нам удивительные нейтральные ка-мезоны. Они рождались при столкновении мчащихся со скоростью света протонов с мишенью, находящейся прямо в вакуумной камере ускорителя. А мгновение спустя на выходе 50-метрового канала появлялись наши старые знакомые, долгоживущие нейтральные ка-мезоны.

Эти частицы, как говорят физики, — идеальный «подарок» природы для проверки теоремы Померанчука. Каждая из них — определенный тип смеси частицы и античастицы, ка-ноль-мезона и анти-ка-ноль-мезона. Теперь достаточно было поставить на их пути вещество, и в одном эксперименте физики могли сравнить, как ведут себя представители мира и антимира.

В конце августа 1970 года в Киев на конференцию по физике высоких энергий съехались ученые из сорока стран. В живописном центральном районе города, в зале Октябрьского Дворца культуры собрались те, кого волнует дальнейшее развитие физики элементарных частиц.

Пятьсот докладов предстояло прослушать участникам этого крупнейшего форума ученых. Но самыми притягательными, самыми интересными были доклады, сообщавшие результаты экспериментов, выполненных в Серпухове по проверке дисперсионных соотношений и теоремы Померанчука.

Физик-экспериментатор член-корреспондент АН СССР

Ю. Прокошкин рассказал о результатах опытов по взаимодействию с нуклонами протонов и антипротонов, пи-плюс-мезонов и пи-минус-мезонов, ка-плюс-мезонов и ка-минус-мезонов с энергией до 70 миллиардов электрон-вольт.

Большой интерес вызвали экспериментальные результаты, полученные в работе с нейтральными ка-мезонами группой кандидата физико-математических наук И. Савина из лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Высокую оценку дал им крупнейший американский физик-теоретик Янг, выступивший в дискуссии по докладу.

Участники конференции аплодисментами встретили появление на трибуне доктора физико-математических наук В. Никитина. Под его руководством ученые Дубны на серпуховской установке провели один из первых опытов по проверке фундаментальных основ теории.

Нетрудно понять, почему серпуховские эксперименты вызвали такой интерес ученых всего мира. Председатель оргкомитета конференции академик Н. Боголюбов сказал: «Многие важные выводы теоретиков делались до сих пор на основе экспериментальных фактов, добытых с помощью ускорителей с энергией протонов до 30 миллиардов электрон-вольт. Какие закономерности проявляются при гораздо больших энергиях, куда пошли экспериментальные кривые? Не опрокинут ли они устои теории?»

Однако на этот раз сюрпризов не было. Обсуждение результатов, полученных в Серпухове, убедило физиков, что аксиомы, лежащие в основе квантовой теории и теории относительности, подходят и для описания элементарных частиц.

Затишье перед бурей

Бывает в природе удивительный момент, который мы называем затишьем перед бурей. Все замирает, все кажется неподвижным и полным ожидания. Но посмотрите наверх — там с большой скоростью перемещаются низкие, наполненные влагой облака. Вот они собрались в большую черную тучу, которая, тяжелея, опускается все ниже и ниже.

Таким затишьем кажется современный период в теории элементарных частиц. Но достаточно полистать научные журналы, поговорить с теоретиками, как начинаешь ощущать, какую напряженную работу они ведут, как досконально изучаются экспериментальные результаты, как много попыток делается для их объяснения. Ведь как раз из них, из этих еще не отшлифованных теоретической мыслью опытных данных, и предстоит возвести следующий этаж науки.

Ученые пока не знают, как это сделать, но уже видят отдельные детали новой теории.

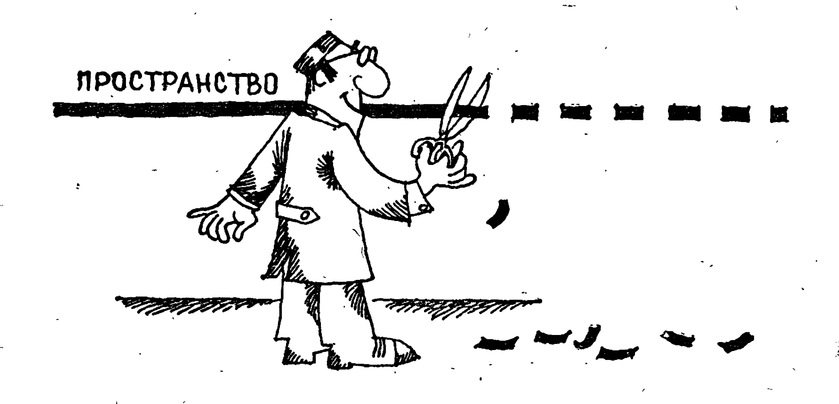
Несомненно, что за порогом этой нарождающейся теории останется устаревшее понятие о точечной частице. Точка — это то, что не делится на части. Элементарные частицы будто бы подходят под это определение — никто еще не наблюдал пол-электрона или треть нейтрона. Но при столкновении частиц высокой энергии рождается целый набор новых частиц. Так что же такое элементарная частица? Простейший, точечный кирпичик или сложная система?

Вспомните, какие вести принесли электронные снаряды, впервые приблизившиеся «вплотную» к нуклонам? Какую сенсацию вызвало открытие электронной структуры протона, нейтрона, определение их пространственных размеров! А недавнее обнаружение партонов?!

Но в теории все частицы продолжают фигурировать как точечные. Частично вследствие этого и получаются бесконечные величины при вычислении массы частиц. Как ввести в теорию новое понятие «элементарная частица», наполненное всем тем, что известно о ней из опыта?

Не лучше обстоит дело с координатой частицы. Принцип неопределенности В. Гейзенберга показывает, что в микромире нельзя одновременно измерить координату и импульс частицы. Но точность значений каждой из этих величин в отдельности не лимитируется.

Допустим, нам надо измерить координату протона. Что делать? Любой экспериментатор подскажет, что местонахождение протона можно установить по рассеянию падающих на него гамма-квантов. Воспользуемся его советом. Ясно, что чем ближе подойдут гамма-кванты к частице, тем с большей точностью мы определим ее координату. Но это под силу только квантам с боль-



шой энергией. Ну что ж, предположим, что мы раздобыли и такие и радуемся в предвкушении точнейшего эксперимента. Но что такое? Из водородной мишени, которую мы поместили в пучок гамма-квантов самой большой энергии, во все стороны разлетаются новые протоны и антипротоны. Возникают такие же частицы, координаты которых мы измеряем. Теперь и не разберешься, где старый протон, а где новый.

«В основе новой теории, по моему мнению, — писал И. Тамм, — будет лежать принципиальное ограничение точности значения координаты, взятой самой по себе, вне зависимости от импульса».

Значит, и старое понятие координаты частицы не выдерживает испытания в физике элементарных частиц.

Некоторые ученые предполагают, что в ультрамалых масштабах пространство окажется не непрерывным, а дискретным. На основе гипотезы о существовании элементарной длины пространства делаются попытки построения новой теории. Но реальный успех этих идей пока невелик.

Вот в этом и драматизм построения новой теории! Где-то впереди прекрасным видением с неясными, расплывчатыми контурами светится великолепный дворец физики элементарных частиц. А в реальных обстоятельствах перед физиками лежит неразобранная груда экспериментальных результатов. И что делать с этим строительным материалом, ученые пока еще не знают.

Не будем детективами

В кинофильме «Бриллиантовая рука» один из его героев, небезызвестный Семен Семенович, так рассказывал о случившейся с ним беде: «Поскользнулся, упал, потерял сознание, очнулся — на руке гипс».

Приблизительно то же самое расскажет вам о ядерной реакции экспериментатор: «Бросил протоны большой энергии на вещество, столкнулись две частицы, что там при этом происходило — не знаю, смотрю — счетчики регистрируют новые частицы».

Принципиальная разница между тем и другим рассказами только в том, что Семен Семенович на самом-то деле видел, что делали с его рукой, а физика обвинить в лукавстве нельзя.

Конечно, ученые не занимаются пересказыванием подобных историй. Они пишут научные статьи и делают доклады, облеченные в строгую математическую форму теории S-матрицы.

Но ни строгая форма, ни внушающее уважение название не могут, да и не пытаются, скрыть главное: полное отсутствие сведений о самом процессе столкновения.

Физик, помещая водородную мишень в пучок протонов, точно знает, что сейчас произойдет столкновение ускоренного протона с протоном, находящимся в мишени. Вот начальные условия реакции. Помните: «Поскользнулся, упал...» Стоп! Все выходят из зала. Включается ускоритель. Электрическое поле все быстрее и быстрее подгоняет частицы. Наконец, гигантская праща выпускает их на свободу. Столкновение!

Но разве это слово содержит в себе иную информацию, кроме той, что на огромной скорости встретились два основных «гражданина» микромира? А как они встретились? Какие промежуточные частицы возникли? Какие снова поглотились?

Современная квантовая теория не в состоянии ответить ни на один из этих вопросов. При таких огромных энергиях столкновения математический аппарат теории совершенно отказывает. Помните: «Потерял сознание...»

А в это время приборы уже регистрируют результаты ядерной реакции. В измерительном центре электронные устройства — анализаторы — подвергают первич-

ной обработке информацию. Наконец, исследователь получает значение вероятности интересующего его процесса.

А эту величину согласно общим принципам квантовой механики как раз и можно выразить с помощью набора математических функций S-матрицы. Ну чем не похоже на знаменитое: «очнулся — на руке гипс»?

S-матрица — это величина, связывающая начальное состояние процесса с конечным, величина, которую измеряют на опыте и вычисляют теоретически. Теперь она — центральное звено, связывающее теорию и эксперимент, «узловой пункт», где происходит встреча теоретиков и экспериментаторов. S-матрица — это язык, на котором они общаются друг с другом.

Ну хорошо, встретились, разобрались, поняли результат опыта. Значит, можно и теорию создать, чтоб его (этот опыт) и объяснить! Можно, но как?

Один путь привычный, на который толкает квантовая механика. Досконально, шаг за шагом изучается поведение частиц, участвующих в реакции, подобно тому как детектив выслеживает преступника, не выпуская его из поля зрения ни днем, ни ночью.

Но если детектив еще может надеяться на успех, то попытка теоретика с самого начала обречена. Никто пока не умеет решить бесконечную цепь уравнений. А ведь только она с помощью волновой функции может описать события, происшедшие в момент столкновения.

Вот почему еще в 1941 году один из основателей квантовой механики, В. Гейзенберг, высказал идею о том, что S-матрица должна быть основой рабочего аппарата современной квантовой теории.

Не будем детективами — так можно понять смысл этой идеи. Не будем заниматься расследованием того, что пока недоступно анализу. Надо создать теорию, уравнения которой можно было бы решить. Такая теория, не пытающаяся конкретно установить, что произошло в момент «потери сознания» — столкновения, — удовлетворила бы всех.

Археолог может обойтись без знания того, кто именно, с помощью какого конкретного инструмента и в какой точно день сделал ценную историческую находку. Археологу важно лишь знать, в каком месте и в каком культурном слое обнаружен древний предмет. Это впол-



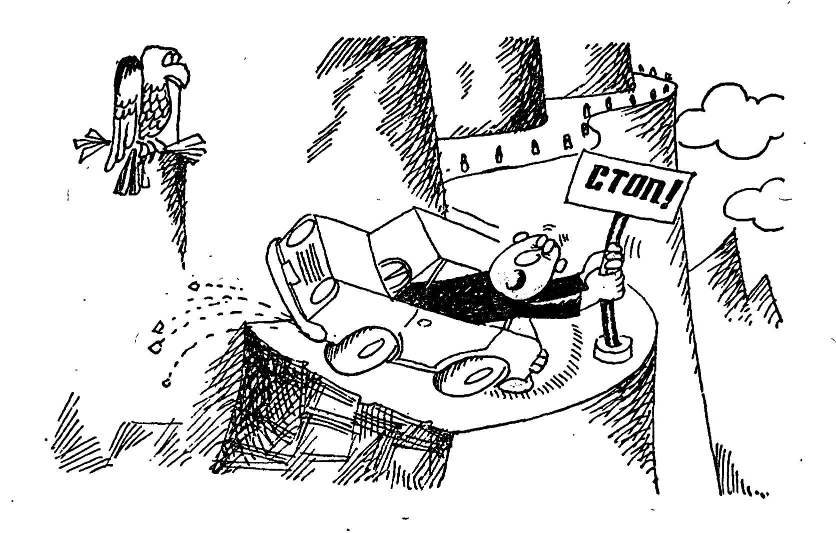
не соответствует начальным условиям ядерной реакции, хорошо известным экспериментатору.

Затем археолог должен иметь возможность непосредственно исследовать обнаруженный экспонат. Описание находки, как и экспериментальный результат, получаемый в физике элементарных частиц, приобретает цену только после теоретической обработки.

Археолог обязательно постарается хотя бы приблизительно датировать найденный предмет и тем определить его значимость. Но когда физики пытаются сделать то же самое — получить элементы S-матрицы из уравнений, — на их пути встают непреодолимые трудности. «Столбовая дорога» и в матричном подходе к созданию новой теории пока закрыта. И тогда возникает множество обходных путей. Теоретики приспособились обрабатывать экспериментальную информацию, просто постулируя некоторые определенные свойства элементов матрицы, высказывая конкретные гипотезы без их связи с фундаментальными аксиомами.

Каждая из обходных дорог обязана не столько железной логике первопроходца, сколько его интуиции, особому чутью в подходе к экспериментальным данным.

Неизвестно, можно ли, двигаясь по этим дорогам, прийти к конечной цели — построить здание из груды кирпичей. Пока дороги ведут недалеко и резко обрываются. На основе этих частных гипотез можно иногда



установить неожиданные связи между различными процессами. Но каждый раз удается сложить в нечто целое лишь очень маленькое количество кирпичей.

«Существующая теория носит мозаичный характер, — говорит директор лаборатории теоретической физики ОИЯИ Д. Блохинцев. — Можно понять и даже рассчитать отдельные явления. Но часто точка зрения, справедливая для одной группы явлений, плохо согласуется с точкой зрения, хорошо объясняющей другую группу явлений. Нет общей картины, намечены только отдельные ее кусочки».

Из груды экспериментальных фактов теоретики пока извлекают лишь отдельные детали будущего здания современной физики.

Но, может быть, кто-нибудь, однажды взглянув на эту мозаику издали, сможет расставить по местам все найденные детали, а частные гипотезы слить в единый архитектурный план здания физики — теорию элементарных частиц.

«Макровзгляд» на микромир

Иногда крайне необходимо иметь возможность увидеть всю картину процесса в целом.

Одного взгляда с самолета достаточно, чтобы в ва-

лах, мешающих археологическим раскопкам, угадать погребенные остатки домов. Непонятные полосы, выбитые на камнях мексиканского плоскогорья, с большой высоты слагаются в гигантское изображение птицы.

Работа физиков-теоретиков, перебирающих и ощупывающих каждый экспериментальный факт, очень напоминает начало раскопок чрезвычайно интересного, но непонятного сооружения. Физики уверены, что когда-нибудь и как-нибудь завал будет расчищен. «Правда, — говорит Ф. Дайсон, — мы можем проталкивать только по одному бревнышку за раз, и очень мало какие из них шевелятся, когда мы их толкаем».

Не охваченный теоретической мыслью, непознанный мир элементарных частиц производит «странное» впечатление. Английский философ Ф. Бэкон писал: «Не существует истинно прекрасного без некоторой доли странности». Одна из наших лучших научно-популярных книг — книга Д. Данина — так и называется «Неизбежность странного мира».

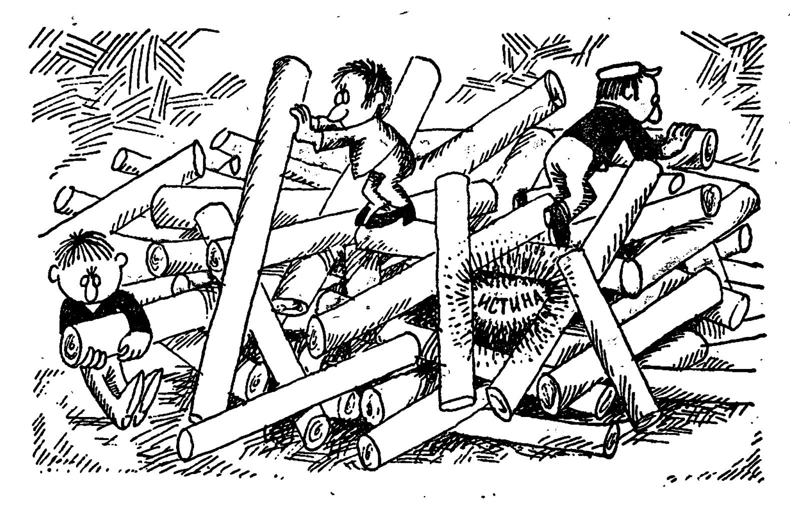
А так ли уж неизбежна эта странность?

Давайте оторвемся от детального разглядывания частиц и их поведения и попробуем посмотреть «сверху» на всю груду экспериментальных результатов, охватив единым взглядом этот новый удивительный мир.

«Разве слишком большие нарушения пропорций, странные отклонения от порядка не губят красоты? — спрашивает М. Гелл-Манн. И отвечает: — В течение многих лет одна из главнейших областей физической науки — учение о строении вещества — страдала болезнью странности. Когда физики исследовали вещество на самых малых расстояниях, оно представлялось им как произвольная смесь отдельных элементарных частиц, среди которых нельзя было заметить никакого строгого порядка. Теперь, наконец, картина начинает немного проясняться. Само слово «странность» вошло в словарь физиков, а ее доля уменьшилась настолько, что уже проступает красота упорядоченности».

Такие разные при близком рассмотрении частицы, как протон и нейтрон, становятся совершенно одинаковыми с точки зрения сильных взаимодействий. Введя новое квантовое число «странность», М. Гелл-Манн и А. Нишиджима сумели уложить и странные ка-мезоны в общую схему классификации частиц.

И чем больше деталей удается охватить взглядом, тем



все упорядоченней становится казавшийся раньше бесформенным завал экспериментальных результатов.

В начале 1960 года в американском научном журнале появилась статья молодого физика-теоретика Дж. Сакураи. Ее появлению в печати предшествовал период мучительных раздумий автора: печатать или не печатать? Пожалуй, главную роль в положительном ответе на этот вопрос сыграла молодость. Ей было легче преодолеть те страхи, которые испытывает каждый исследователь, надеющийся достигнуть важных результатов.

«Вы можете подумать, — говорит П. Дирак, — что хороший исследователь оценивает полученный результат совершенно спокойно, без малейшего волнения, рассуждая вполне логично и развивая дальше свою мысль вполне рациональным путем. Это далеко не так. Исследователь — только человек, и если он питает великие надежды, то он испытывает и великие страхи».

Еще до публикации статьи Дж. Сакураи знал об отрицательном отношении к ней коллег по работе. «Не существует частиц, которые ты предсказываешь!» — слышал он от всех. Какой же внутренней уверенности, может быть, даже неосознанной самим автором смелости и решительности потребовал от Дж. Сакураи завершающий шаг! Спорная статья была сдана в печать.

Теоретики встретили ее появление прохладно, многие вообще не обратили на нее внимания. Но совершенно иной была реакция экспериментаторов. Не так уж часто

от теоретиков поступали определенные указания. В основном они занимались «раскопками» и обработкой уже полученных результатов.

На крупнейших ускорителях мира были поставлены опыты. И вскоре обнаружились все три типа частиц, описанных Дж. Сакураи. Это были далеко не обыкновенные частицы. Ведь без открытия векторных мезонов, как их назвали, не смогла бы возникнуть идея кварков.

М. Гелл-Манн сказал как-то, что природа проста, если знать, как к ней подойти. Исторически так получилось, что сначала была создана квантовая теория электромагнитных взаимодействий, а затем уже по аналогии с ней возникла теория сильного ядерного взаимодействия. Общение между нуклонами мыслилось по образу и подобию отношений, существующих между заряженными частицами. Электроны обменивались квантами электромагнитного поля — фотонами, а нейтроны или протоны — пи-мезонами. Но кто поручится, что это единственно возможный и правильный подход?

«Наша теория, — говорил Дж. Сакураи, — по-своему напоминает о замечании Р. Фейнмана, что новые идеи надо создавать, задавая вопрос: что было бы, если бы история пошла другим путем».

Путь, предложенный Дж. Сакураи, начинался от той же «печки», что и предыдущий, — от аналогии с электромагнитным взаимодействием.

Любой старшеклассник знает, что электрический заряд — это источник электромагнитного поля, что этот заряд определяет силу взаимодействия между заряженными телами. Но, кроме того, мы знаем, что электрический заряд с огромной точностью сохраняется при любых превращениях материи. И в ядерных реакциях, и при столкновениях элементарных частиц общий электрический заряд частиц до реакции всегда равен заряду всех частиц после реакции. Здесь нет ничего нового. Закон сохранения электрического заряда открыт был давно, и экспериментаторы убеждены в его непоколебимости.

Известный физик-теоретик Е. Вигнер еще в 30-х годах обратил внимание на эту двойственную роль электрического заряда: на то, что такое внутреннее свойство заряда, как его сохранение, проявляется динамически (определяет силу взаимодействия). Ну так же, как характер человека, основа которого — тип темперамента, —

заложенная глубоко в генетическом коде, проявляется в повседневном его поведении, в его поступках.

Суть идеи Вигнера, Швингера, Янга, Миллса, Утияма заключалась в том, что сила любого взаимодействия должна быть связана с сохраняющейся при этом взаимодействии величиной заряда.

В сильных взаимодействиях тоже есть три сохраняющихся величины: изотопический спин, гиперзаряд и барионный заряд. А что, если и они проявляются динамически в сильных взаимодействиях? Ведь тогда откроется путь к созданию новой теории!

Дж. Сакураи и поставил перед собой задачу посмотреть — не соответствуют ли этим трем сохраняющимся величинам три типа взаимодействий? В результате его исследования выяснилось, что, подобно переносчикам электромагнитного поля — фотонам, в природе должно существовать три типа векторных мезонов — переносчиков сильного взаимодействия, — которые и были вскоре обнаружены экспериментаторами.

«Если предлагаемая теория окажется верной, — пишет Дж. Сакураи, — то возникнет, естественно, вопрос: не основываются ли все фундаментальные взаимодействия, существующие в природе (электромагнитное, ядерное, слабое, гравитационное), на законах сохранения внутренних свойств?»

Смотрите, какой широкий вырисовывается охват одновременно всех типов взаимодействий! Какая увлекательная возможность дать единый «алфавит» — единую теоретическую основу «многоязычным» взаимоотношениям элементарных частиц! И, что самое главное, возможность эта возникла не в результате применения логически стройных аналитических методов, как это делается при построении квантовой теории поля, а в результате поисков проявления симметрии во взаимодействии между частицами.

«На фоне сотен попыток построить удовлетворительную теорию явлений микромира, — пишет профессор Я. Смородинский, — возник новый метод, новая форма рассуждений, лишенная на первый взгляд четких основ. Это метод симметрий, оказавшийся очень эффективным в применении именно к тем процессам, для которых старая теория бессильна».

К тому времени М. Гелл-Манн уже несколько лет занимался систематикой элементарных частиц, поиском

подходящей точки зрения, с которой можно было охватить взглядом все фундаментальные частицы. Когда появилась статья Дж. Сакураи, он, может быть, более других был внутренне готов к восприятию содержащихся в ней идей. И, несмотря на недоброжелательность основной массы теоретиков, он сразу применил содержащуюся в ней идею к классификации элементарных частиц (восьмеричный путь).

В своих воспоминаниях космонавт В. Севастьянов пишет, что, пролетая над Варшавой, он решил выяснить, что вберет в себя «макровзгляд» из космоса над центром Европейского материка. Он увидел сразу Скандинавский полуостров, Балтику, Ленинград, Адриатику, Черное море, а впереди по курсу — Москву.

Идеи Янга — Миллса — Сакураи позволили бросить «макровзгляд» на мир элементарных частиц и при этом обнаружить его упорядоченность. Все частицы разделились на несколько больших семейств по восемь или десять членов. И в каждом из этих семейств частицы выглядели ма-



тематически эквивалентными, симметричными друг другу.

А это дает не только эстетическое наслаждение. Найденная «гармония природы» честно служит практическим задачам физики микромира. Благодаря ей впервые удалось вычислить вероятности процессов с участием частиц — членов одного и того же семейства. Проявилась зависимость между такими явлениями, в которых раньше не находили ничего общего.

Закрывая 12-ю Международную конференцию по физике высоких энергий в Дубне (ту самую, на которой ученые впервые услышали об опытах с ка-мезонами), Д. Блохинцев сказал, что мы уже не так далеки от нашей общей цели — открытия новых принципов теории, управляющей миром элементарных частиц. Однако, продолжал он, «скептики могут заметить: да, вы, вероятно, правы, и мы совсем близки к цели, если только едем в правильном направлении...»

Какое из современных направлений, существующих в теории, правильно — сказать пока невозможно. По-видимому, правы те ученые, которые считают, что каждая из конкурирующих теорий содержит долю истины и в известной мере дополняет одна другую.

Частица-призрак

Серпуховской ускоритель... Вернемся еще раз к этому уникальному инструменту физики элементарных частиц. Он позволяет проникать в такие заповедные глубины материи, где каждый шаг вперед — открытие, хотя делать эти шаги все тяжелее и тяжелее.

Трудно оторвать глаза от четкой линии кольцевого магнита. Но что это? Почти идеальная симметрия серпуховского магнита нарушена. Между двумя его прямолинейными секциями вокруг вакуумной камеры ускорителя появилось большое, около 5 метров в диаметре, шарообразное сооружение. «Установка для регистрации монополя Дирака» — так официально называют его физики. А попросту говоря, это новейшая конструкция ловушки для одной из самых призрачных частиц, о встрече с которой давно мечтают ученые.

Электромагнитные взаимодействия — это, пожалуй,

единственная область современной физики, где, как говорит профессор Я. Смородинский, «теория и опыт согласуются уже сейчас до тысячных долей процента, оставляя физиков в почтительном изумлении перед всеобъемлющей силой электродинамики, честно описывающей процессы в галактиках и в атомных ядрах».

Но даже в ней, в квантовой электродинамике, в которой многие видят прообраз будущей теории элементарных частиц, есть еще «белые пятна». Одно из них — это то, что необыкновенно разные по массе, по времени жизни и по другим свойствам элементарные частицы имеют совершенно одинаковый электрический заряд, в точности равный заряду электрона.

Единственное объяснение этому удивительному экспериментальному факту дал в 1931 году П. Дирак. Его замечательное уравнение для электрона, лежащее в основе электродинамики, впервые распахнуло двери в антимир. И оно же позволило ему сделать еще один важный вывод о возможности существования частицы с магнитным зарядом — так называемого монополя.

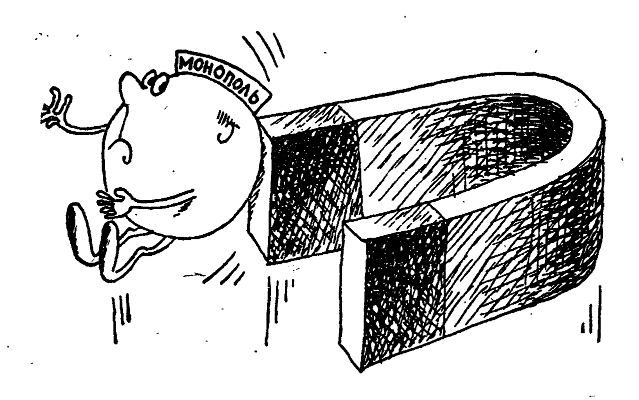
Если монополь — реальность, то согласно теории сразу получается, что электрические заряды всегда должны быть кратны кванту электричества, равному заряду электрона. После открытия позитрона ученые уже гораздо серьезнее отнеслись и ко второму предсказанию.

Сорок с лишним лет прошло с тех пор, как была высказана эта идея. Но и сегодня нет иных конкурирующих с ней гипотез. И конечно, экспериментаторы давно прилагают усилия для поисков монополя. Подобно миражу в пустыне, дразнит он воображение и заставляет ученых предпринимать все более и более изощренные попытки обнаружить его.

Известно ли что-нибудь физикам об этой частице-призраке? Не напоминают ли поиски ее ситуацию, так хорошо описанную в русских народных сказках: «Пойди туда, не знаю куда, найди то, не знаю что»?

Герой одной детективной пьесы говорит, что «он не обучен поиску преступника-призрака, что он должен знать о нем хоть что-нибудь конкретное».

Теория не балует ни охотников за кварками, ни охотников за монополем. И те и другие имеют в руках только одну твердо установленную примету: дробный электрический заряд у кварков и большой, в семьдесят раз



больший электронного, магнитный заряд у частицы, предсказанной П. Дираком.

Сведений, как видите, не так уж много; скорее даже очень мало. Но если опытный следователь даже по анализу пыли на костюме обвиняемого может воссоздать картину преступления, то физик, исходя из величины магнитного заряда частицы, может в какой-то мере представить ее поведение в веществе.

Заряд — важнейшая улика, скрыть которую невозможно. Очень сильное электромагнитное взаимодействие — вот чем монополь отличается от всех других элементарных частиц. Попади он в фотоэмульсию, в ней после проявления был бы такой же густой и толстый след, какой оставляет тяжелое ядро.

Монополь со столь большим зарядом должен легко подчиняться влиянию магнитного поля. Даже слабое поле Земли будет действовать на него так же, как действует на электрон электрическое поле величиной 100 000 вольт/см!

Нельзя ли как-то использовать такое необычное обстоятельство для его обнаружения?

Задолго до появления мощных ускорителей родилась идея поискать в природе свободные монополи, которые могли попасть на Землю в составе космических лучей или возникнуть в земной атмосфере. Но где их искать? Ведь никому не известно, куда именно попали они, прилетев к нам на Землю.

И тут всплывает главная примета монополя: магнитный заряд делает его особенно чувствительным к магнитным веществам. Эта частица должна будет дрейфовать по силовым линиям магнитного поля нашей пла-

неты до тех пор, пока не встретит на своем пути железо или железные руды. Взаимодействуя с ними, частицы будут накапливаться в этих породах.

Попавшую в глаз металлическую соринку извлекают с помощью магнита, подведенного к глазу. Точно так же, с помощью сильного магнитного поля, пытались вытягивать монополи, возможно застрявшие в магнитных породах.

В США в городах Адирондака, где есть выходы на поверхность магнетитовых пород, прямо на скалах установили мощный импульсный соленоид. Магнитное поле в центре соленоида и на поверхности скалы составляло 60 килогаусс. В верхней части соленоида располагались слои фотоэмульсии, на которых обязательно должен был «расписаться» каждый монополь, вытянутый из породы и ускоренный в соленоиде. Но когда эмульсия была проявлена, оказалось, что она не содержит ни одного желанного «автографа».

Пробовали «отсасывать» монополи из железных метеоритов, которые в течение сотен миллионов лет блуждали в просторах космоса. Искали в образцах магнитных минералов, добытых со дна океана: быстрые монополи, рождающиеся при столкновении космических частиц с энергией до 10^{20} электрон-вольт с веществом атмосферы, могли накапливаться здесь в течение миллионов лет. Но поиски были безуспешны.

Пытались ученые найти следы быстрых космических монополей в слюде и в вулканическом стекле. Но следов таких частиц обнаружить не удалось.

Несколько лет назад, когда участники экспедиции «Аполлон-11» впервые доставили на Землю лунный грунт, профессор Альварец из Калифорнийского университета поставил оригинальный опыт. Он решил поискать монополи в образцах лунной породы. Возраст Луны достаточно солидный (3—4 миллиарда лет), поверхность ее изменялась незначительно, и там могло накопиться достаточно много космических монополей.

Драгоценную породу на медленно движущейся ленте много раз протаскивали через электрический контур из сверхпроводящего материала. Монополи — это заряды — источники мощного магнитного поля. А раз так, то в замкнутом проводнике должен возникать электрический ток.

Исследованию подверглись почти все девять кило-

граммов грунта, привезенного американскими космонавтами. Но наведенного тока обнаружить не удалось.

Казалось бы, можно сделать окончательный вывод, что монополей в природе не существует. Но физики такого вывода не сделали. Ведь в точности никому не известно, как ведут себя монополи в веществе. В опытах по вытягиванию их из разных веществ предполагалось, что за время накопления с монополями ничего не происходило. Но откуда взялась такая уверенность?

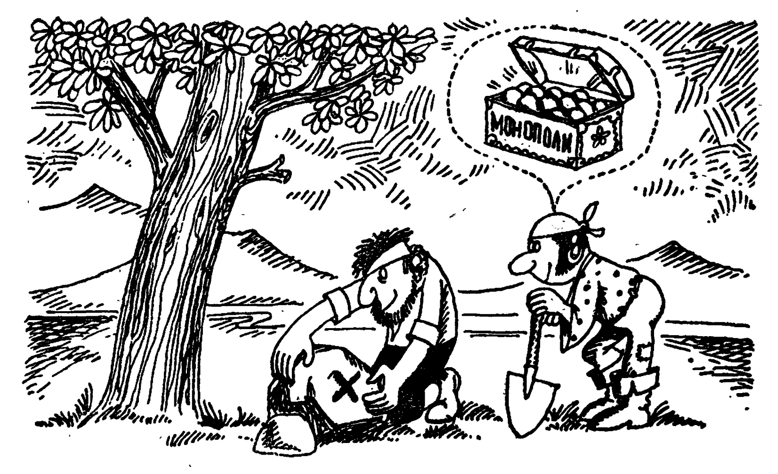
А вот и еще одна неопределенность. По некоторым расчетам получалось, что энергия связи монополя в веществе равна химической — всего нескольким электрон-вольтам. Но по другим расчетам энергия эта может достигать сотен мега-электрон-вольт! Но тогда извлекать монополи из породы с помощью магнитного поля попросту невозможно...

Первые опыты в Беркли на протонах с энергией всего 7 Гэв не изменили сложившейся ситуации. Не изменили ее и опыты с протонами с энергией 30 Гэв. Физики предполагают, что пары монополей, как и другие элементарные частицы, могут рождаться при столкновении частиц высокой энергии с веществом. Но какой энергии? Теория П. Дирака не отвечает на этот вопрос. Необходимая для рождения монополя энергия зависит от его массы, а о ней нам ничего не известно.

Итак, ни одного утешительного результата за двадцать лет непрерывных поисков этой частицы-призрака. За столь длительный срок ученые могли и охладеть к проблеме монополя.

Но вот что сказал несколько лет назад сам автор теории монополя, П. Дирак: «После того как я установил существование позитрона, я пришел к мысли о существовании новой частицы — магнитного монополя. Это обосновывается замечательными по красоте математическими вычислениями, и мы будем счастливы, если окажется, что монополи действительно существуют в природе и великолепные математические расчеты будут иметь применение».

Нет, П. Дирак не отказался от своего предсказания. И появление шарообразного, похожего на спутник, устройства на камере Серпуховского ускорителя — лучшее свидетельство тому, что поиски этой частицы продолжаются с неослабевающим интересом. Серпухов открыл новую страницу в летописи поисков монополей П. Дира-



ка. Энергия, которую частицы приобретают в ускорителе, достаточна для создания монополей в пять раз тяжелее протонов.

В первых экспериментах в Серпухове группа физиков Института атомной энергии имени И. В. Курчатова помещала в поток протонов огромной энергии мишень, в которой, как предполагалось, и должны были рождаться монополи с разными знаками магнитных зарядов. Магнитное поле ускорителя должно было отклонять их в противоположные стороны, где находились накопительные пленки из ферромагнитного вещества. Через полтора года, в течение которых в них могли накапливаться монополи, пленки поместили в магнитное поле величиной более $2 \cdot 10^5$ эрстед. И опять неудача! Не было обнаружено ни одной частицы.

Эти эксперименты не были похожи на прежние поиски монополей в природе, напоминавшие розыски неизвестно где зарытого клада. Теперь ученые точно знали, где могли возникнуть таинственные частицы, но обнаружить их пытались, к сожалению, методом накопления, имеющим определенные недостатки.

Избавиться от них можно было только в том случае, если регистрировать монополи сразу, в момент их рождения. Вот такая установка и появилась на Серпуховском ускорителе. На этот раз в поисках частицы Дирака приняла участие интернациональная группа сотрудников Объединенного института ядерных исследований.

Любую заряженную частицу, движущуюся в веществе быстрее света, можно обнаружить по электромагнитному черенковскому излучению, названному так в честь автора открытия лауреата Нобелевской премии академика П. Черенкова. Сейчас метод регистрации сверхбыстрых частиц по черенковскому излучению — один из основных в физике высоких энергий.

На этой идее и строился новый опыт. Был использован тот факт, что на Серпуховском ускорителе могли рождаться частицы со скоростью, близкой к скорости света в вакууме. Попадая же в вещество, такая частица испускает черенковское излучение. Из специального шлюза с помощью автоматики выдвигался и закреплялся в центре вакуумной камеры небольшой, тщательно отполированный конус из оптического кварца.

Пролетая сквозь кусок кварца — сердце черенковского счетчика, частицы, рожденные столкновением пучка протонов с кварцем, сразу должны высвечиваться в нем. А спрятанная под кожухом сложная оптическая система из линз и фотоумножителей — собирать и регистрировать этот свет.

Экспериментаторы наблюдали по телевизору за положением мишени, видели, как изумительно полыхала и переливалась она при встрече с протонным пучком. И казалось невероятным, что среди этого сияния фотоумножители могут уловить лучи, принадлежащие именно монополю.

Но физики не сомневались в этом. Их прибор со стопроцентной вероятностью мог обнаружить каждый монополь, возникающий в установке, ведь по теории, за которую академики И. Тамм и И. Франк получили Нобелевскую премию, магнитный заряд излучает в 10^4 раз больше света, чем любая другая заряженная частица.

Более того, монополь Дирака будет зарегистрирован, если он окажется нестабильным и возникнет лишь на короткий миг. «Я просто убежден, — говорил руководитель этого эксперимента кандидат физико-математических наук В. Зрелов, — что магнитные заряды существуют. Пока нет абсолютного теоретического запрета, а придумать такой запрет ничуть не проще, чем открыть монополь. Вы уже знаете, как рухнул ряд основных положений физики, может быть догматических, в области слабых взаимодействий. Мне кажется, что в настоящее время положение таково, что чем жестче

запрещающий теоретический принцип, тем яростней его атакуют физики-экспериментаторы. Я думаю, что кому-то все-таки повезет открыть монополь».

* * *

В 1972 году вступил в строй самый большой ускоритель протонов в Батавии близ Чикаго на энергию 400 Гэв. Новая машина — новые задачи?

Нет, задачи остались прежними, поскольку они все еще не решены. Уникальная установка В. Никитина со струйной водородной мишенью перекочевала вместе со своими создателями за океан для измерений в новой области энергий протонов. Более половины всех проектов экспериментов, предложенных для осуществления в Батавии, относится к поискам кварков и монополя Дирака. Продолжаются настойчивые поиски промежуточного бозона — переносчика слабых взаимодействий. Очень важны опыты с нейтрино недоступных ранее энергий, представляющие большой интерес для проверки новой теории слабых взаимодействий С. Вайнберга. Эту теорию один из ведущих теоретиков назвал самым крупным достижением за последние 15 лет. Усилия, как мы видим, сосредоточены на немногих узловых проблемах.

В 1969 году физик-теоретик Ю. Швингер еще более сузил круг экспериментальных задач, предложив гипотезу, по которой составной частью всех элементарных частиц является дайон. А как же кварковая модель материи?

И монополи и кварки в несколько раз тяжелее протонов и связаны с представлением о существовании новых видов материи. Ю. Швингер соединил «судьбы» этих двух частиц: проблему электромагнитных взаимодействий — монополь Дирака — он объединил с проблемой классификации элементарных частиц — кварками. Если монополь будет найден, сразу же прояснится, почему все электрические заряды кратны. Но в тот же миг исчезнет идея кварков, частиц с зарядом $^1/_2$ и $^2/_3$ заряда электрона.

Дайон, предлагаемый Ю. Швингером, спасает положение. Только дайон, частица с магнитным зарядом, может иметь, по теории, дробный электрический заряд.

Дробный электрический заряд этого гибрида совмес-

тим с целочисленным зарядом, кратным заряду электрона, элементарных частиц, не имеющих магнитного заряда. Если бы дайоны нашлись, то это помогло бы объяснить даже нарушение CP-симметрии в слабых взаимодействиях.

Смогут ли экспериментаторы дать четкие ответы на поставленные теоретиками вопросы? Достаточно ли их будет для построения новой теории элементарных частиц? Пока это неизвестно. Может быть, все решится в течение ближайших нескольких лет, а может быть, полученные ответы приведут к появлению нового круга вопросов. Ручаться можно лишь за «беспредельность непознанного и бесконечность радостного пути познания».

Недаром в финале копенгагенского «Фауста», написанного учениками Н. Бора и исполненного на «капустнике», завершившем конференцию теоретиков в 1932 году, Мефистофель говорил:

Эксперимент — как откровенье:
Пусть в нем теорий ни крупицы,
Зовет нас к новым размышленьям
Природы новая страница.

БОЛЬШАЯ НАУКА

И вольтажом любого напряжения,
И дальним рубежом воображения
Я выбираю будущее в груде
Еще никем не изданных орудий.

П. Антокольский

Раньше и теперь

В чем тайна «ремесла» современных физиков-экспериментаторов?

Раньше далекий от науки человек мог, стоя за спиной Резерфорда, легко представить себя участником открытия атомного ядра, наблюдая за редкими вспышками-звездочками на сцинтилляционном экране. Ну так же, как, следя за работой чеканщика, мы можем вообразить себя его соучастниками, потому что видим все его последовательные операции.

Чедвик в решающем эксперименте открытия нейтрона использовал один-единственный прибор — ионизационную камеру. Появление электрического импульса на ее выходе соответствовало попаданию в камеру заряженного протона. Наглядность опыта здесь меньше, чем при работе со сцинтилляционным экраном, но все же достаточно большая. Стоило отнести в сторону источник альфа-частиц или убрать расположенный перед камерой кусок парафина, из которого вылетали протоны, выбитые нейтронами, и механический счетчик замолкал.

Э. Резерфорд делал великие открытия с помощью примитивного оборудования, которое зачастую сам же и изготовлял чуть ли не из консервных банок. Физики тогда работали не с ускорителями — их еще не было, — а с радиоактивными источниками, имея дело максимум с двумя сортами частиц. И какие это были «удобные» частицы! Стабильные, как электроны и протоны, или долгоживущие, как нейтроны. Их регистрация не до-



ставляла никаких затруднений: они отличались друг от друга по степени производимой ионизации. Даже новичок без труда отличил бы альфа-частицу от электрона по величине импульса из ионизационной камеры.

Но простота экспериментов начала века была кажущейся. При всей примитивности оборудования опыты по открытию атомного ядра и элементарных частиц были невероятно трудны тем, что связывались с самыми первыми шагами в исследовании микромира. Материя неожиданно представала перед учеными в совершенно новом качестве. Трудно было ориентироваться без компаса-теории в этом безбрежном океане непознанного. Квантовая механика только нарождалась, а о теории элементарных частиц еще не было и речи. Проложить правильный курс в этих сложнейших условиях было под силу лишь крупнейшим физикам нашего столетия.

Теперь центр тяжести в экспериментальной физике высоких энергий переместился скорее в воплощение уже известного по идее эксперимента. Исследуемые объекты так сложны, что «простых» методов для их изучения просто не существует. Сейчас любой эксперимент в физике высоких энергий настолько же сложнее первоначальных, насколько атомные часы сложнее солнечных. И работа физиков-экспериментаторов давно уже утратила привлекательность первоначальной простоты.

Только в памяти ветеранов науки остались те, не такие уж далекие времена, когда «судьбу физического эксперимента решал один хороший стеклодув, а наличие в лаборатории токарного станка считалось основанием для оптимистических прогнозов».

Создание уникальной установки — а именно такой и является современная «рядовая» установка — требует огромных материальных ресурсов. Ее стоимость достигает нескольких миллионов рублей. Поэтому каждая работа, которую проводят, например, на Серпуховском ускорителе, прежде всего обсуждается на ученом совете Института физики высоких энергий. И только после полученного «добро» экспериментаторы непосредственно приступают к созданию необходимой установки.

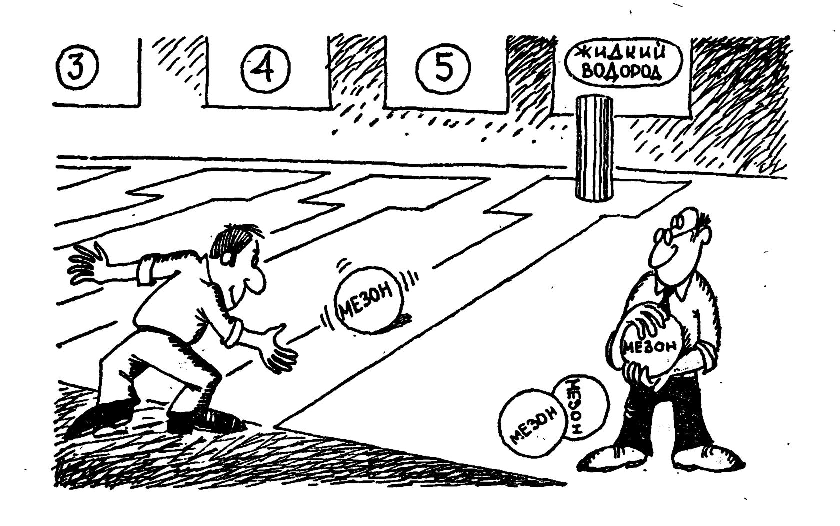
А это, прямо скажем, задача чрезвычайной трудности. И решить ее могут только те, кто владеет главной тайной своего ремесла, кто сочетает большие знания о свойствах и поведении элементарных частиц с высоким экспериментальным мастерством.

Купание в жидком водороде

Проверка теоремы Померанчука с помощью ка-ноль-мезонов (цель эксперимента) не гениальное открытие, а, как сказал руководитель группы И. Савин, «совершенно прозрачная вещь. Больше пятнадцати лет назад, как только была понята природа этих частиц, стало ясно, как с их помощью можно проверить основы теории. Но предполагаемый эксперимент был столь сложен, что лишь современный уровень развития экспериментальной техники сделал эту идею практически выполнимой».

Установка для проверки этой фундаментальной теоремы есть, она в Серпухове. Более десяти секунд понадобилось бы даже мастеру спорта, чтобы добежать от места рождения тяжелых нейтральных частиц в вакуумной камере ускорителя до конца всего экспериментального комплекса, растянувшегося почти на 100 метров в длину. Мы же давайте пройдем это расстояние спокойно, не торопясь, останавливаясь у самых главных узлов установки.

На первых пятидесяти метрах с нейтральными каонами ничего особенного не случается. Они проскакивают



через несколько отклоняющих электромагнитов и магнитных линз, убирающих посторонние частицы, и ныряют в коллиматоры, формирующие их в пучок.

Мезонный канал, вдоль которого мы проходим дальше, «бережно» доводит максимально возможное количество частиц до мишени из жидкого водорода. Что происходит с долгоживущими ка-ноль-мезонами после купания в жидком водороде?

Относительно частиц с малой энергией было известно, что они обязаны превратиться в короткоживущие ка-ноль-мезоны. А теперь предстояло узнать, как поведут себя те же долгоживущие ка-ноль-мезоны, но уже с огромной энергией вламывающиеся в мишень. Если справедлива теорема Померанчука и частицы и античастицы, из которых состоят ка-ноль-мезоны, при больших энергиях практически одинаково взаимодействуют с протонами мишени, то короткоживущих мезонов должно появиться значительно меньше.

Физики предъявили массу требований к состоянию водорода в мишени. Он должен был иметь и постоянную температуру, и постоянную плотность, но самое главное — ни в коем случае не кипеть! Пузырьки, пронизывающие всю толщу мишени, — страшный враг, потому что исподволь меняют ее толщину, а учесть это изменение пока что невозможно. Не так-то просто удовлетворить всем этим требованиям даже в том случае,

если объем жидководородной мишени невелик. Но в этом опыте для увеличения вероятности столкновения каонов с протонами необходимо было работать с мишенью длиною в три метра!

Трехметровую трубу из нержавеющей стали, наполненную жидким водородом, поместили в другую, диаметром около полуметра, и для предотвращения кипения откачали воздух из зазора между ними.

Но тогда возникла новая трудность. По условиям опыта нельзя чинить дополнительных препятствий ка-мезонам перед входом и выходом из мишени. А эти препятствия были в виде плотных торцевых стенок. Окна мишени пришлось закрыть лавсановыми пленками толщиной 120 микрон. Но тоненькая пленка прогибалась под давлением жидкого водорода в сторону вакуума. А допустить этого никак было нельзя — ведь из мезонного канала выходил пучок частиц, диаметр которого достигал нескольких сантиметров. Значит, для разных частиц длина водородной мишени была бы неодинаковой, а результаты эксперимента — неоднозначными.

Решение, как всегда, пришло неожиданно и оказалось совсем простым. Окна мишени сделали из двух слоев лавсана. Во внутренней пленке прокололи маленькую дырочку так, чтобы давление по обе стороны этого окна выравнивалось, а жидкий водород в просвет между окнами не проникал. Оригинальная конструкция окон и специально созданный для этой мишени стабилизатор давления позволили продолжительное время поддерживать количество водорода на пути частиц постоянным с точностью до 0,05 процента.

Молнии в коробке

Миновав мишень с ее сложным криогенным хозяйством и двумя пультами управления, мы добираемся до места, где у физиков как будто остается одна-единственная задача. Здесь, в трех метрах от конца мезонного канала, надо просто подсчитать количество короткоживущих нейтральных мезонов, появляющихся из мишени. Их число прямо соответствует разности вероятностей взаимодействия ка-ноль- и анти-ка-ноль-мезонов с водородом. Не правда ли, кажется, ничего сложного здесь нет?



Но тяжелые короткоживущие ка-ноль-мезоны лишь на мгновение появляются из мишени и тотчас же распадаются на более легкие пи-плюс- и пи-минус-мезоны. И в этом главная трудность эксперимента. Теперь надо не просто зарегистрировать две новые частицы, но и доказать, что они ведут свое происхождение от первичного каона — короткоживущего ка-ноль-мезона. А решать эту задачу приходится в присутствии бесчисленного множества посторонних фоновых частиц, летящих как от ускорителя, так и от мишени.

По углу между пи-мезонами и по их энергии можно найти массу частицы-родительницы. Если она совпадает с массой ка-ноль-мезона, значит вполне вероятно, что эти заряженные частицы те самые, на которые распался каон, то есть пи-мезоны. Для полной уверенности сравнивают направление движения частицы, подозреваемой в идентичности с ка-ноль-мезоном, с направлением мезонного пучка, падающего на мишень. Оба эти направления должны совпадать.

Для всех этих измерений нужна такая экспериментальная установка, которая в миллиардные доли секунды среди миллионов частиц «узнала бы» нужные физикам и зафиксировала бы их координаты в пространстве с точностью до долей миллиметра! Хорошо бы еще видеть пролетающие частицы! Конечно, элементарные частицы увидеть нельзя. Но их следы — треки — уче-

ные уже давно научились делать «видимыми» в фотографических эмульсиях. (Эмульсиями с успехом пользовались еще на заре развития физики микромира. С успехом пользуются ими и сейчас. Блок, или, как говорят физики, «ведро эмульсии», будет участвовать в опыте по обнаружению монополя Дирака на ускорителе в ЦЕРНе.)

Но, увы, для проверки теоремы Померанчука такой прибор не подходит, ибо его работой невозможно управлять. В последние годы в физике элементарных частиц появился новый прибор — искровая камера. Многие физические задачи, в том числе и задача с ка-ноль-мезонами, не могли быть решены без применения этого прибора.

Устройство искровой камеры несложно. В герметической коробке, заполненной инертным газом, размещены на некотором расстоянии друг от друга металлические пластинки или проволочки. Заряженная частица, пролетая между пластинками, оставляет за собой сорванные с атомов электроны и заряженные ионы. Высокое напряжение, приложенное к пластинкам, сообщает этим атомным осколкам дополнительную энергию, и они приобретают способность, в свою очередь, выбивать электроны из атомов. Новые электроны и ионы делают то же самое, и в результате образуется лавина — канал из ионизированного газа. Теперь путь разряду открыт, и в тех газовых промежутках, где пролетела частица, происходит пробой: возникают яркие искры, которые и делают путь частицы видимым или доступным для автоматических измерений.

Крупный вклад в развитие этой новейшей методики внесли советские ученые. Им удалось вмешаться в процесс развития разряда. Укоротив высоковольтный импульс напряжения, подаваемого на пластины камеры, они сумели остановить его в стримерной стадии, когда электрическое поле успевает создать только зародыши зарядовых лавин — стримеры. Это дало возможность очень точно измерять координаты трека при прохождении частицы под любым углом к направлению пластин.

За создание стримерной искровой камеры в 1970 году группа ученых Института физики АН Грузинской ССР под руководством Г. Чиковани и совместная группа ученых Физического института АН СССР и Московского инженерно-физического института под руковод-

ством доктора физико-математических наук Б. Долгошеина была удостоена Ленинской премии.

Несмотря на все достоинства искровой камеры, искры в ней отмечали путь не только «наших» пи-мезонов, но и любых других заряженных частиц. Как же заставить искровую камеру не реагировать на посторонние частицы?

Единственная возможность состояла в том, чтобы включить ее именно для тех частиц, которые «происходят» от нейтральных ка-ноль-мезонов. Почти сорок метров установки для проверки теоремы Померанчука заставлены сложными приборами. Они понадобились для того, чтобы воплотить эту возможность в действительность. Экспериментаторы хорошо представляют себе геометрию траекторий пи-мезонов от распада короткоживущего ка-ноль-мезона до конца всей огромной установки.

Девять искровых камер до магнита и столько же после него необходимы для достаточно точного фиксирования координат частиц в пространстве. Говоря языком чисел, эта система в состоянии обнаружить изменение в координатах, равное 1 миллиметру, на расстоянии пяти метров!

Но если не управлять работой искровых камер, то они постоянно будут забиты треками фоновых частиц, и найти среди них интересующие нас просто невозможно. С другой стороны, заранее нельзя угадать, какую из частиц, попадающих в установку, надо регистрировать, а какую нет. Необходим хоть какой-нибудь запас времени, чтобы разобраться во всех этих частицах.

Здесь-то и приходит на помощь самое главное качество искровой камеры. Если через нее пролетела заряженная частица, то между ее металлическими пластинами образуется дорожка из ионов и электронов. Но она остается невидимой до тех пор, пока не включено высокое напряжение. В течение миллионной доли секунды пролета частицы расположение атомных обломков в пространстве не успевает измениться. Поэтому камера, включенная даже с такой задержкой, еще способна сделать видимым ее путь.

Итак, у физиков выкроилась целая микросекунда. За это время они должны ухитриться не только опознать «свои» частицы, но и дать приказ о включении искровых камер.

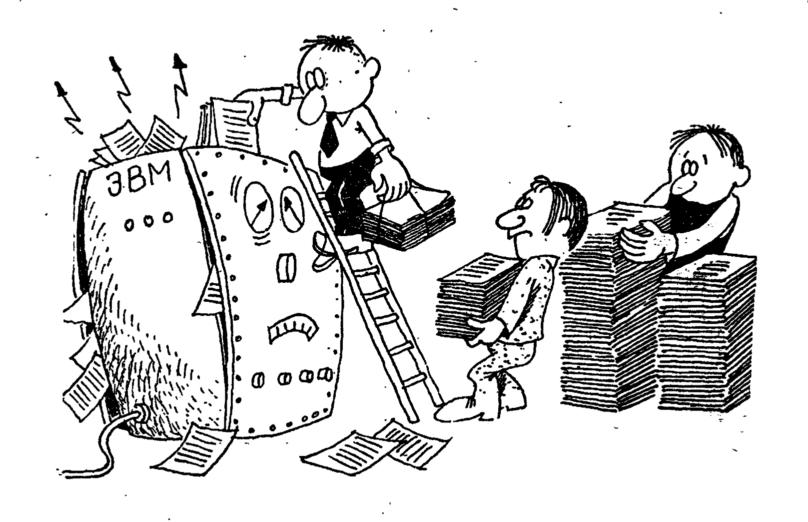
От монолога к диалогу

Насколько же теперь условия работы экспериментаторов отличаются от тех, что были лет тридцать назад! Тогда между исследователем и прибором шел неторопливый разговор, состоящий из длинных монологов. Помните, как Э. Резерфорд, заполняя камеру поочередно воздухом, азотом, водородом, спокойно подсчитывал количество вспышек от вылетающих из камеры ядер водорода. Д. Чедвик сначала измерял число протонов, выбиваемых нейтронами из парафина, потом убирал парафин и, не торопясь, убеждался, что теперь протонов нет.

Такие темпы «разговора» в современном эксперименте физики высоких энергий просто немыслимы. Теперь необходим оживленный диалог, и по возможности без пауз.

В арсенале экспериментаторов давно находится прибор — сцинтилляционный счетчик. Заряженные частицы, попадая в него, возбуждают световую вспышку, которую чувствительная лампа-фотоумножитель тотчас превращает в электрический импульс. С помощью этого счетчика по амплитуде импульса можно легко отличить протоны от электронов и мезонов, если энергии их невелики. Правда, у релятивистских частиц, движущихся почти со скоростью света, все импульсы одинаковы, и по ним невозможно определить «сорта» частицы. Но экспериментаторы, работающие в физике высоких энергий, увидели в этом приборе одно ценное качество: сигнал от каждой пролетевшей частицы поступает от сцинтилляционного счетчика очень быстро, за 10^{-9} секунды, как раз то, что нужно.

Итак, на протяжении всей установки расположили около 50 сцинтилляционных счетчиков. Их поместили перед искровыми камерами, перед магнитом и за ним. Счетчики установили так, что частицы, которые необходимо зарегистрировать, обязательно должны были пролететь через них. Теперь по порядку поступления импульсов, который соответствует геометрии полета частицы через установку, можно найти пи-мезоны, образовавшиеся от распада нейтральных каонов, и дать команду искровым камерам, чтобы они включились для регистрации.



Но легко сказать — найти пи-мезон! Человеку, даже самому расторопному, не под силу сделать все это за доли секунды. Поэтому вместо него работают специальные электронные «логические» схемы. В течение миллиардной доли секунды они успевают проанализировать импульсы всех сцинтилляционных счетчиков, и если две частицы одновременно «чиркнули» по всем счетчикам в заданном порядке, электронная схема «считает» их искомыми частицами и «разрешает» запуск камер. И тогда в тех местах каждой камеры, где пролетела частица, возникает искровой разряд. В виде электрических импульсов с многочисленных проволочек каждой из 18 камер начинает поступать информация о координатах (x и y) траектории частицы в данной точке пространства.

Ну вот мы и прошли все метры, на которые протянулись мезонный канал и сама экспериментальная установка для регистрации короткоживущих ка-ноль-мезонов, возникающих в жидководородной мишени.

Но увиденное нами еще не исчерпывает списка всех важнейших узлов установки. В стороне от нее в «экспериментальном домике», где исследователи могут находиться во время работы ускорителя, стоят стойки с несколькими сотнями блоков электронной аппаратуры, начиненные десятками тысяч транзисторов, куда приходят все импульсы от установки. А еще в одном поме-

щении расположено устройство, куда стекается вся информация. Здесь происходит контроль за работой одновременно всех приборов и каждого из них в отдельности. Без этого контроля установка, соединяющая в себе все самое передовое в экспериментальной науке и технике, превратилась бы просто в выставку современной аппаратуры. Конечно же, это электронно-вычислительная машина.

«Раньше, до разработки методики проведения экспериментов на линии с ЭВМ, — сказал И. Савин, — ставить такие опыты было бессмысленно». Объем информации опыта так велик, что даже вычислительная машина, напрягая до предела свою «память» и выжимая максимальную скорость, едва успевает принять и записать на магнитную пленку сведения о траекториях нужных частиц.

Окончен очередной сеанс работы на ускорителе. Физики возвращаются с ценнейшим грузом экспериментальных результатов, зашифрованных в магнитных пленках. Наступает новый этап работы, когда ученым нужен не ускоритель, а другая ЭВМ для обработки «полуфабриката» информации.

В главном вычислительном центре Дубны стоит мощная и быстрая вычислительная машина. По специальной математической программе «реконструкции» она восстанавливает из отрезков траекторий всю картину распада короткоживущих нейтральных ка-ноль-мезонов. Машина сама находит точку распада, угол между пи-мезонами, энергию этих частиц по отклонению в магнитном поле.

И когда все события, связанные с каонами, возникающими в жидководородной мишени, будут восстановлены и их характеристики в удобном виде записаны на новые магнитные пленки, пленки пойдут на дальнейшую обработку.

Несмотря на то, что логические схемы добросовестно выполняли свои обязанности, некоторые из зафиксированных событий, только внешне похожих на ту ядерную реакцию, для поисков которой и создана эта сложная экспериментальная установка, могут оказаться случайными. Поэтому последнее слово опять предоставляется физикам.

Пленки с результатами, полученными интернациональной группой физиков под руководством И. Савина,

были продублированы и окончательно обработаны в Дубне, Праге и Будапеште.

Несколько лет напряженной работы большого коллектива ученых потребовалось для проверки теоремы Померанчука на протонах, нейтронах и ядрах изотопа водорода — дейтерия. Важнейшая теорема современной физики подтвердилась: чем больше энергия частиц, тем меньше разница в поведении между этими частицами и их античастицами.

Мишень — струя водорода

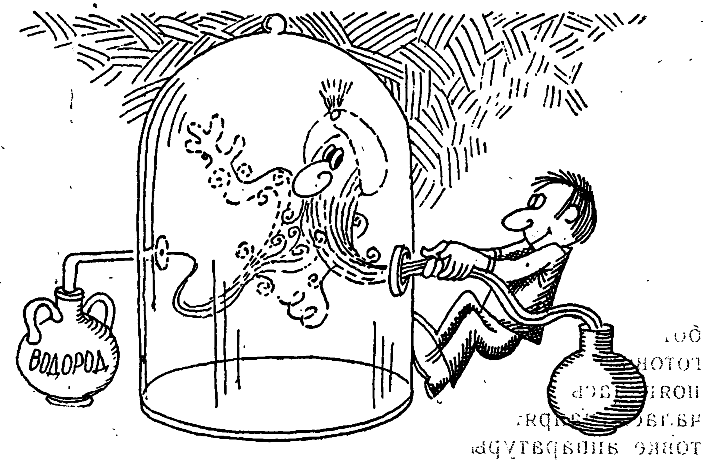
«Говорят, что идеи дорого стоят. Это верно. И все же в нашей практике чаще всего «драма идей» разыгрывается не в высокой сфере духа, а в плоскости их реализации», — считают экспериментаторы.

Если для эксперимента с каонами потребовалась уникальная по своим размерам и качеству мишень, вмещающая довольно большое количество водорода, то для опытов по рассеянию протонов на протонах, выполненных в Серпухове под руководством В. Никитина, понадобилась сверхтонкая мишень с плотностью в миллионную долю грамма на один кубический сантиметр.

Любая оболочка, в которую заключили бы такую мишень из газообразного водорода, безнадежно испортила бы все результаты. А изюминка эксперимента как раз и заключалась в том, чтобы посмотреть, как ведут себя быстрые протоны при столкновении с мишенью из чистого водорода. И в лаборатории высоких энергий ОИЯИ впервые в мире была создана уникальная струйная водородная мишень, работающая внутри камеры ускорителя.

Сейчас даже самим создателям этого оригинального устройства трудно сказать, кого было больше вначале — сторонников или противников этой идеи. В ее реализации сомневались даже крупные ученые, и не без оснований.

Протоны в Серпуховском ускорителе набирали энергию в 70 миллиардов электрон-вольт. Они двигались по замкнутому кольцу вакуумной камеры, тщательно откачанной до давления в 10^{-7} миллиметра ртутного столба. И стоило вакууму хоть немного испортиться, как коли-



чество ускоряемых протонов резко уменьшалось: сталкиваясь с частицами воздуха, они попадали на стенки камеры и выбывали из процесса ускорения. Их движение напоминало беспорядочные движения шайбы под ударами клюшки начинающего хоккеиста.

И при таких жестких условиях по вакууму нужно было регулярно впрыскивать в камеру такое количество водорода, чтобы его хватило бы на увеличение давления во всем объеме ускорителя. А резкое нарушение вакуума в камере ускорителя во время эксперимента привело бы к электрическим пробоям в высокочастотных устройствах, и уникальный ускоритель на длительное время был бы выведен из строя.

Задача, которую поставили перед собой конструкторы, напоминала ту, что возникла перед героем восточной сказки, когда он неосторожно распечатал бутылку с заключенным в ней джинном. Но чтобы не попасть в ситуацию, аналогичную сказочной, они решили впустить джинна — струю газообразного водорода — в вакуумную камеру, заготовив с противоположной стороны другую «бутылку» — вакуумнасос.

Раз за разом ставили сотрудники криогенного отдела лаборатории высоких энергий ОИЯИ опыты на моделях, прежде чем высокий вакуум и плотный поток газа перестали противоречить друг другу и начала вырисовываться конструкция будущего устройства.

Струя газообразного водорода, выпущенная из специального устройства со сверхзвуковой скоростью, пересекала пучок быстрых протонов внутри камеры ускорителя — и в этот момент она играла роль мишени. А затем попадала в «горлышко» гелиевого конденсационного насоса, действительно похожего на широкую бутылку. В доли секунды он укрощал впущенного в камеру джинна, превращая готовый распространиться во все стороны газ в неподвижный и совершенно неопасный водородный иней.

И вот в марте 1968 года наступил день, когда работники транспортного отдела ОИЯИ начали перевозку готовой установки в Серпухов. Одной из первых она появилась в огромном, еще пустом зале ускорителя. Началась напряженная многомесячная работа по подготовке аппаратуры к работе на новой машине. И, наконец, наступили дни круглосуточных измерений протекающих экспериментов.

Пока физики занимались обработкой полученных результатов, инженеры-конструкторы продолжали улучшать методику струйных мишеней. Надо было добиться меньшей ширины струи для того, чтобы ликвидировать ошибки в определении углов вылета вторичных частиц при взаимодействии ускоренных протонов с мишенью. Кроме того, струйная мишень оказалась для некоторых экспериментов все-таки недостаточно плотной, из-за чего увеличивалось время работы на ускорителе.

Выход был найден. Струю уплотнили, перейдя от сверхзвуковой струи газа к потоку более медленно движущихся капелек жидкого водорода и твердых его частичек. Ширина новой мишени из сконденсированного водорода стала в 4 раза меньше, плотность увеличилась в десять раз, а количество впускаемого в ускоритель газа сократилось в 2—3 раза.

Группа В. Никитина с несколькими сотрудниками криогенного отдела, принимавшими участие в создании струйной мишени, весной 1972 года выехали в Америку. Они должны провести эксперименты с новым уникальным устройством на только что запущенном в Батавии самом мощном ускорителе в мире на энергию 400 Гэв.

Результаты первых измерений, полученные на этой установке, уже докладывались летом 1972 года на конференции по физике высоких энергий в Батавии,

«Индустриальная» наука

Экспериментальный зал современного ускорителя. Стометровая установка, работающая совершенно автоматически под ровное гудение электромагнитов. Не похоже ли это на завод с автоматической поточной линией? С той лишь разницей, что к заводской линии можно подойти в любой момент и подрегулировать, если что-то разладилось. А для физиков эта проблема связана с выключением ускорителя. И, кроме того, они не видят своими глазами обрабатываемые их установкой «детали».

Обычно поточная линия обслуживается несколькими операторами. Точно такая же картина и здесь. Например, в опыте по проверке теоремы Померанчука за работой 50 сцинтилляционных счетчиков, 18 искровых камер и большого магнита круглосуточно присматривают четыре человека. Двое дежурят около электронных схем, которые принимают и передают экспериментальную информацию в вычислительную машину. А еще двое — непосредственно у ЭВМ, где можно проследить за подачей информации в машину и проверить работу отдельных счетчиков и всей установки.

ЭВМ — сердце современных экспериментальных устройств. Физики уже давно используют вычислительные машины. Но раньше они применялись лишь на стадии обработки результатов. Теперь на крупнейших ускорителях им поручается «дирижирование» самим экспериментом.

Любопытно признание руководителя одного из самых интересных и важных экспериментов, проведенных в Серпухове, В. Никитина: «Экспериментальную физику сейчас невозможно представить себе без ЭВМ. Поразительно, как быстро меняется психология человека. Всего десять лет назад многие из нас изредка заглядывали в зал «старушки» М-20, присоединяясь к какой-нибудь экскурсии. Насмешливая улыбка кривила губы при виде бисера цифр восьмеричного машинного кода... А теперь без всего этого жить не можем, любовь — до гроба!»

В Серпухове группа В. Никитина недавно закончила 700-часовой эксперимент. Машина БЭСМ-3М беспрерывно сортировала и записывала информацию. Если бы



не помощь машины, то только на запись результатов эксперимента ученым потребовалась бы стопка тетрадей высотой в километр!

«Работа на современной большой ЭВМ, — говорил В. Никитин, — наслаждение. Особенно это относится к моментам, когда читающее устройство не съедает карты, магнитная лента не реверсирует, магнитофон не затирает персональную библиотеку, параллельная задача не выбрасывает вашу программу из-за недостатка места на магнитном барабане, а девушки-операторы с улыбкой сообщают, что, хотя ваше время истекло, они готовы добавить вам 30 секунд (разумеется, в счет завтрашнего сеанса)».

Не так давно физик-экспериментатор Альварец в нобелевской речи сказал, что «прошло то время, когда в статьях, подписанных одним физиком, можно было прочесть в конце: «Я хотел бы поблагодарить такого-то за разработку аппаратуры и получение большей части результатов».

Теперь научные сотрудники, инженеры, программисты, квалифицированные лаборанты с высшим образованием — равноправные соавторы совместно проводимой работы. Статья о проверке теоремы Померанчука на мишени из водорода подписана 28 авторами! И среди них — несколько физиков, инженеров-электронщиков,

специалистов по искровым камерам и сотрудников вычислительного центра ОИЯИ.

Конечно, это вовсе не означает, что в физике элементарных частиц не работают также и небольшие группы ученых. В этих группах благодаря идеям, генерируемым их руководителями, удается иногда с помощью довольно скромных средств добиваться блестящих результатов. Особенно это относится к физикам, работающим на ускорителях с энергией до 1 Гэв — 1 миллиарда электрон-вольт. Но на машинах с энергией от нескольких десятков Гэв и выше экспериментаторы вынуждены соединяться в большие группы. А в таком коллективе, работающем с применением современной заводской техники и вычислительных машин, существует ярко выраженное разделение труда.

«Поскольку исследования становятся массовыми, — говорил академик Б. Кадомцев, — нередко получается, что на долю одного научного работника приходятся довольно мелкие задачи. Это и есть определенный недостаток современной науки: появляется масса людей, которые вынуждены решать такие задачи».

Несомненно, характер работы каждого члена большого научного коллектива изменился. Но крупным группам стало по плечу решение таких научных задач, о которых не могли и мечтать ученые, занимавшиеся в эпоху «ремесленно-мануфактурного» труда в науке.

Сотрудники больших групп, как правило, с удовольствием работают на сложных установках. Их энтузиазм подогревать не надо. Гораздо труднее приходится иному выпускнику, пришедшему в научное учреждение. Воспитанный на классических примерах истории физики, он даже не подозревает о существовании современной «большой» науки, где многочисленные коллективы заняты сложнейшей работой, результат которой ожидается через несколько лет. А он сам желает сделать что-то такое, что быстро привело бы его к открытию. И когда он в конце концов видит, что это просто невозможно, его охватывает чувство разочарования.

Почему же так происходит?

«Наука сейчас очень сложна, — считает академик Б. Кадомцев, — и достичь выдающихся успехов удается лишь немногим. Ясно, что, если студент, оканчивающий университет, наперед поставит перед собой такую цель, то скорее всего его ждет неудача. Он может в конце

концов возвратиться к «юношескому максимализму», но уже на иной основе — достаточно развив свои способности и убедившись в соответствии своих сил выдвигаемым перед собой целям».

Да, характер науки за последние три-четыре десятилетия сильно изменился. Однако «научные исследования сохранили свой старомодный дух неутомимого творческого поиска».

«Волшебная палочка»

Творческий поиск... Это он не давал покоя уже далеко не молодому отцу атомной физики Э. Резерфорду. К 1924 году ему удалось расщепить все легкие ядра, в которые могли проникнуть альфа-частицы, испускаемые радием. А что же дальше?

Известный ученый Ф. Астон писал в те годы: «Теперь наступил неизбежный период покоя в ожидании открытия новых орудий исследования». И, конечно, этот застой наиболее остро переживал сам автор открытия атомного ядра. Ему нечем было «обрабатывать» лежащую перед ним «ядерную целину». Если б в его распоряжении были частицы больших энергий...

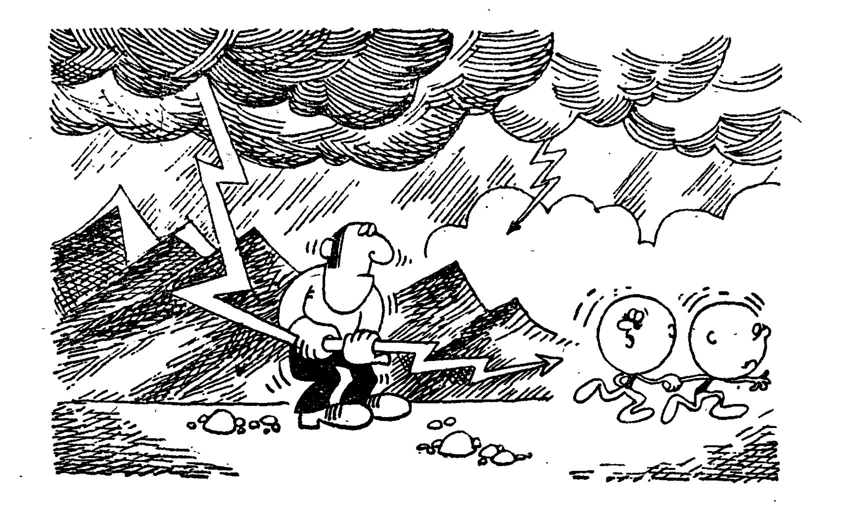
Э. Резерфорд попросил своего лаборанта Кэя выяснить: можно ли собрать систему батарей или динамомашин для получения больших электрических полей?

Когда Кэй показал Э. Резерфорду стоимость такой системы — совершенно ничтожной по современным масштабам, — Э. Резерфорд отбросил проект, «подобно раскаленному кирпичу».

Нам, живущим в эпоху создания великолепных ускорителей, таких, как Серпуховской или в Батавии, трудно представить, что во времена Э. Резерфорда непреодолимой казалась проблема получения источников постоянного высокого напряжения.

Группа итальянских физиков пыталась использовать для ускорения частиц грозовые разряды в горах. Однако вести эксперименты с таким непостоянным источником напряжения было по меньшей мере неудобно.

И вот настал 1932 год, когда сотрудники Э. Резерфорда — «его мальчики» — Д. Кокрофт и Е. Уолтон по-



лучили пучок протонов, ускоренных в разрядной трубке до энергии почти одного миллиона электрон-вольт. Тогда это была крупнейшая победа. Впервые в истории физики можно было наблюдать ядерные реакции, вызванные искусственно ускоренными частицами. Можно понять восторженность Н. Бора, который в письме к Э. Резерфорду назвал это примитивное устройство «мощным средством» науки.

Так началась эра ускорителей в физике элементарных частиц.

Следующим важным шагом было создание Э. Лоуренсом кольцевого ускорителя — циклотрона, форму которого унаследовали и современные гигантские машины. Однако принцип работы циклотрона не позволял получать частицы с энергией выше нескольких десятков миллионов электрон-вольт. Поэтому можно считать, что история ускорителей, сыгравших огромную роль в познании микромира, начинается в 1944 году. В этом году советский ученый В. Векслер сообщил об открытии принципа автофазировки. Путь к высоким энергиям был проложен.

Теперь ускорители с энергией в несколько миллиардов электрон-вольт и выше стали играть роль «волшебной палочки», с помощью которой можно в любой момент создать «красочную феерию» из множества элементарных частиц.

Вспомните, как все это происходит. Ускоренные до огромной энергии протоны сталкиваются с мишенью, расположенной либо внутри вакуумной камеры, либо на выходе протонного пучка из ускорителя. И во все стороны разлетаются нейтроны, протоны, мезоны, резонансы...

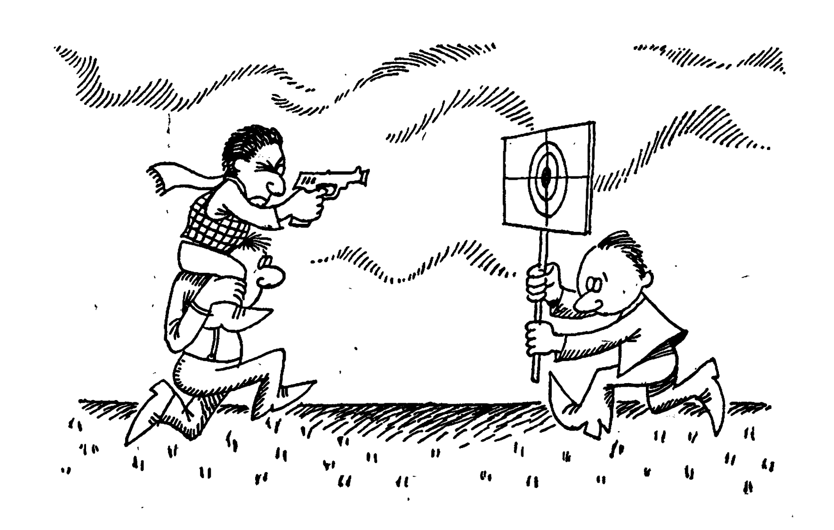
К сожалению, не вся энергия сталкивающихся частиц расходуется на рождение новых. Масса быстрых, ускоренных протонов значительно больше массы протонов, находящихся в неподвижной мишени. И при их соударении значительная доля энергии протона-«снаряда» уходит на движение обеих частиц. А на рождение новых остается совсем немного. Только при встречной одинаковой скорости они могут всю свою энергию превратить в энергию взаимодействия. Но нельзя же передвигать мишень с околосветовой скоростью навстречу ускоренным протонам.

А почему нельзя? — задумались ученые. Игра стоит свеч: если скорости встречных частиц будут близки к скорости света, то эффект их взаимодействия может увеличиться не в 4 раза, как предсказывает механика Ньютона, а, например, в 4 тысячи. При столкновении двух электронов с энергией в миллиард электрон-вольт эффект их взаимодействия будет эквивалентен энергии ускорителя на 4000 миллиардов электрон-вольт!

Как же себе это представить? Может быть, это ускоритель без обычной мишени? А может быть, это ускоритель с мишенью, «раскрученной» до скорости света? Но тогда она превратится в такой же пучок ускоренных протонов. Так возникла идея ускорителя на встречных пучках.

Только не подумайте, что он состоит из двух ускорителей, стоящих напротив друг друга со скрещенными, словно рапиры, пучками. На самом деле это один и тот же ускоритель, который «накачивает» два металлических кольца, как велосипедные шины, летящими в противоположные стороны протонами.

Два переплетающихся кольца диаметром 300 метров — такова установка для встречных пучков, запущенная недавно в ЦЕРНе. Протоны, впрыснутые в кольца из обычного ускорителя с энергией 23 миллиарда электрон-вольт, взаимодействовали друг с другом как частицы с энергией в 50 раз большей — одна тысяча сто миллиардов электрон-вольт!



Ученые впервые наблюдали рассеяние протонов на протоне при такой недостижимой ни на каком классическом ускорителе энергии. Сложная система магнитов весом в 5000 тонн удерживала частицы на магнитной дорожке в камере длиною около 1000 метров и десять сантиметров в диаметре. Остается добавить, что все это устройство создавалось в течение 5 лет коллективом физиков, состоящим из 300 человек.

Но у новых ускорителей был один серьезный недостаток, свое слабое место. Ахиллесова пята таких ускорителей на встречных пучках — малая плотность подвижной мишени: второго пучка. Она в сотни миллионов миллиардов раз меньше плотности обычной неподвижной мишени. Вот почему ускорители эти начали строить недавно, хотя идея их создания известна уже давно.

«Столкнуть две частицы, — говорил академик Г. Будкер, — задача по сложности примерно такая же, как «устроить» встречу двух стрел, одну из которых выпустил бы Робин Гуд с Земли, а вторую Вильгельм Телль с планеты, вращающейся вокруг Сириуса».

Физикам приходится добиваться того, чтобы пути частиц пересекались как можно чаще. Церновские кольца имеют такую геометрию, что протоны встречаются в восьми специальных участках.

В Институте ядерной физики Новосибирска под руководством академика Г. Будкера ведутся исследования встречных протон-антипротонных пучков. Строится установка, где будут встречаться протоны и антипротоны с энергией по 25 Гэв, что эквивалентно обычному ускорителю на 1200 Гэв. Скрестятся пути частиц материи и антиматерии. Есть надежда, что если кварки существуют и их масса не больше 25 масс протона, то они будут обнаружены.

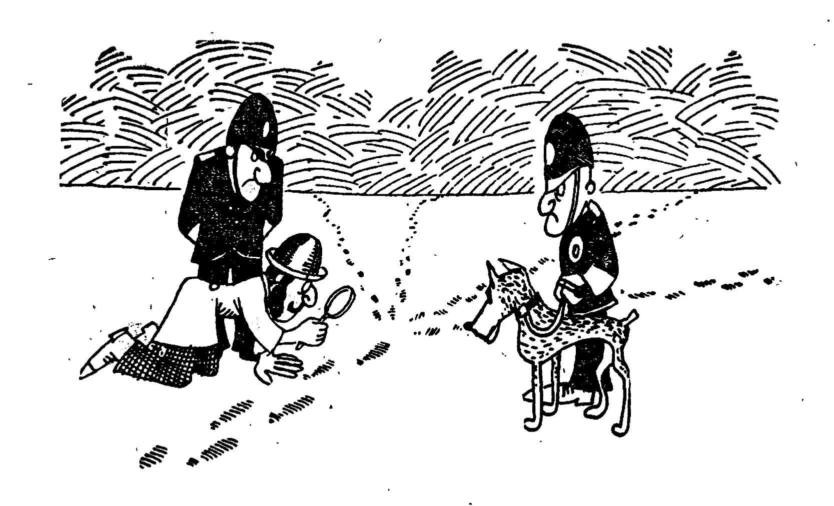
«Сверхвысокие энергии — область только встречных пучков», — считает академик Г. Будкер. Поэтому уже сегодня физики Новосибирска обсуждают проект новой установки со встречными пучками протонов и антипротонов, соответствующей ускорителю с энергией 2 миллиона миллиардов электрон-вольт. Классический ускоритель на такую энергию имел бы диаметр земного шара, а его стоимость приблизилась бы к национальному доходу всей планеты.

Однако и ускорители на встречных пучках довольно сложные и громоздкие устройства. Да к тому же они связаны с обычным, классическим методом ускорения.

В 1956 году академик В. Векслер предложил совершенно новый способ ускорения элементарных частиц. До сих пор все машины рассчитывались на ускорение каждой отдельно взятой частицы. Хотя мы и говорим о пучке протонов, обсуждаем его плотность, но все эти протоны, бок о бок мчащиеся в вакуумной камере по магнитной дорожке, по сути дела, независимы друг от друга.

В. Векслер первый понял, что не нужно ускорять частицы по одной, что «вся сила — в коллективе». И высказал идею, которая показалась совершенно фантастической. Ее не поняли поначалу даже такие специалисты в области ускорителей, как Э. Лоуренс и Мак-Миллан.

Действительно, трудно представить, что можно ускорить, например, протоны электрическим полем, которое создается не внешними источниками, а сгустком электронов. Электроны с энергией всего в 1 Мэв уже движутся со скоростью, близкой к скорости света. Если же большой сгусток таких электронов захватит и увлечет за собой протоны, то через некоторое время их скорости сравняются. Но протоны в 2000 раз тяжелее электронов. Во столько же раз больше будет их энергия. Она достигнет нескольких миллиардов электрон-вольт!



Не исключено, что эта идея воплотится в новом методе получения специфических пучков частиц для исследований в ядерной физике.

Физика на расстоянии

В конце апреля 1953 года на съезде американского физического общества во время ленча в саду гостиницы познакомились два будущих лауреата Нобелевской премии — уже известный физик-экспериментатор Л. Альварец и никому не известный Д. Глазер. Д. Глазер очень сожалел, что никто не услышит его десятиминутного сообщения, потому что оно будет самым последним докладом на съезде.

«В то время, время тихоходных самолетов, — вспоминал Л. Альварец, — последний доклад на съезде слушало еще меньшее число людей, чем сейчас (если это только возможно). Я допускал, что, быть может, тоже не буду присутствовать на этом докладе, и попросил его объяснить мне то, о чем он собирается рассказывать. Так я впервые услышал от Д. Глазера об изобретении им пузырьковой камеры. Его работа оказала на меня сильнейшее впечатление, и я сразу же почувствовал, что это, возможно, как раз та спасительная

идея, в которой так нуждалась физика элементарных частиц».

Искровых камер в то время еще не было, и экспериментаторы не знали, как им приступить к изучению только что открытых и озадачивших всех странных частиц — каонов и гиперонов. Ясно: чтобы исследовать такую реакцию, где при взаимодействии отрицательных пи-мезонов с протонами рождаются две нейтральные странные частицы, физику просто необходимо все увидеть своими глазами с начала и до конца. То есть найти то место, где обрывается след пи-мезона и через некоторый промежуток появляются две «вилки» из следов заряженных частиц, на которые распадаются странные нейтральные частицы.

А проблема нейтрального сигма-гиперона? Именно реакция его распада послужила предметом шутки В. Вайскопфа на одной из научных конференций. Известный теоретик вызвал в аудитории веселье, показав абсолютно чистую фотографию, сделанную в камере Вильсона, и сказав, что она является доказательством распада новой нейтральной частицы сигма-гиперона на две другие, тоже нейтральные. Эта шутка хорошо отражала беспомощность экспериментаторов перед такого рода реакциями до изобретения пузырьковой камеры.

Фотографические эмульсии для изучения реакций, в которых есть обрыв — пустой промежуток, соответствующий пролету нейтральных частиц, — не годятся. Не годился и первый удачный трековый детектор: уже знакомая нам камера Вильсона.

Ее роль в истории познания микромира огромна. Еще в начале нашего века некоторые физики сомневались в существовании не только элементарных частиц, но даже и атомов. Камера Вильсона, в которой можно было видеть следы отдельных заряженных частиц и ионизированных атомов, положила конец всяким сомнениям. Н. Бор в письме к Э. Резерфорду прекрасно передает впечатления физиков того времени, впервые своими глазами увидевших превращение атомного ядра: «Когда узнаешь, что протон и ядро лития просто соединяются в альфа-частицу, чувствуешь, что это не могло быть иначе, хотя никто не отваживался так думать».

Экспериментаторы и по сей день не расстаются с этим прибором, но используется камера Вильсона для ограниченного круга задач. Пар, который в ней нахо-

дится, имеет небольшую плотность, поэтому вероятность взаимодействия, например, отрицательных мезонов с протонами в объеме камеры очень мала.

Вот такая ситуация царила в экспериментальной физике в момент создания Д. Глазером нового трекового прибора — пузырьковой камеры. Коротко о ее принципе. В перегретой жидкости, находящейся в камере, пузырьки пара очень быстро растут вдоль пути пролетающей заряженной частицы. Они высаживаются на «шлейфе» из электронов и ионов, который оставляла за собой эта частица.

Камеру можно было наполнять разными жидкостями, подбирая их так, чтобы происходили те реакции, которые изучаются. Для исследования взаимодействия разных частиц с протонами камера наполнялась жидким водородом, который имеет значительную плотность. И в жидком водороде камеры можно было наблюдать всю цепочку реакции — от рождения и до распада любой элементарной частицы.

Пузырьковые камеры стали популярнейшим прибором во всех лабораториях мира. И нетрудно догадаться почему. Когда ускорители были менее мощными, в ядерных реакциях одновременно рождались две или три частицы. За ними всегда можно было уследить с помощью нескольких сцинтилляционных счетчиков. Но теперь, при больших энергиях, появилась возможность исследовать процессы множественного образования частиц — от пяти до четырнадцати разных наименований. В этом случае пузырьковые камеры — наиболее подходящий инструмент.

Во время беседы с Л. Альварецом на съезде американского физического общества Д. Глазер показал ему свои первые фотографии пузырьковых треков, полученные в стеклянном баллоне диаметром около 1 сантиметра и длиной в 2 сантиметра, заполненном диэтиловым эфиром. А уже спустя четыре года заработала пузырьковая камера диаметром 180 сантиметров.

Резонансы, успевающие пройти до распада путь в несколько ядерных радиусов, редкие реакции с рождением странных частиц — все это оказалось доступным «зоркому оку» пузырьковой камеры, непрерывно всматривающемуся в жизнь микромира. В 1960 году открытие Д. Глазера было отмечено Нобелевской премией.

Именно в двухметровой пузырьковой камере Брукхейвенской лаборатории был обнаружен знаменитый омега-минус-гиперон, что так сильно подняло акции авторов восьмеричного пути. В 1970 году в Аргоннской лаборатории специально для экспериментов с нейтрино была запущена жидководородная камера 3,6 метра длиной. Год назад во французском ядерном центре в Сакле была создана пузырьковая камера диаметром в 4,7 метра.

Современная пузырьковая камера — это завод с обширным вакуумным, энергетическим, газовым и электронным хозяйством. Прибор для исследования мельчайших кирпичиков материи концентрирует в себе все новейшие достижения физики низких температур, криогенной техники, растровой оптики и многих других разделов науки и техники.

Каждое такое устройство создается в течение многих лет большими коллективами научных сотрудников, специалистов-криогенщиков, инженеров и техников.

Треки, возникающие в жидком водороде камеры, фотографируются через окна, сделанные из оптического стекла, весящего несколько сотен килограммов. Когда строились первые камеры, проблема большого окна порой казалась непреодолимой. Л. Альварец, один из создателей первых больших пузырьковых камер, вспоминал: «Как-то, просматривая перечень докладов, представленных на недавнюю конференцию по криогенной технике, я обнаружил среди них один, который гласил: «Большое стеклянное окно для наблюдения за жидким водородом». Сжигаемый нетерпением, я бросился разыскивать сам доклад, но в нем описывался металлический сосуд Дьюара с окном диаметром... в один дюйм!»

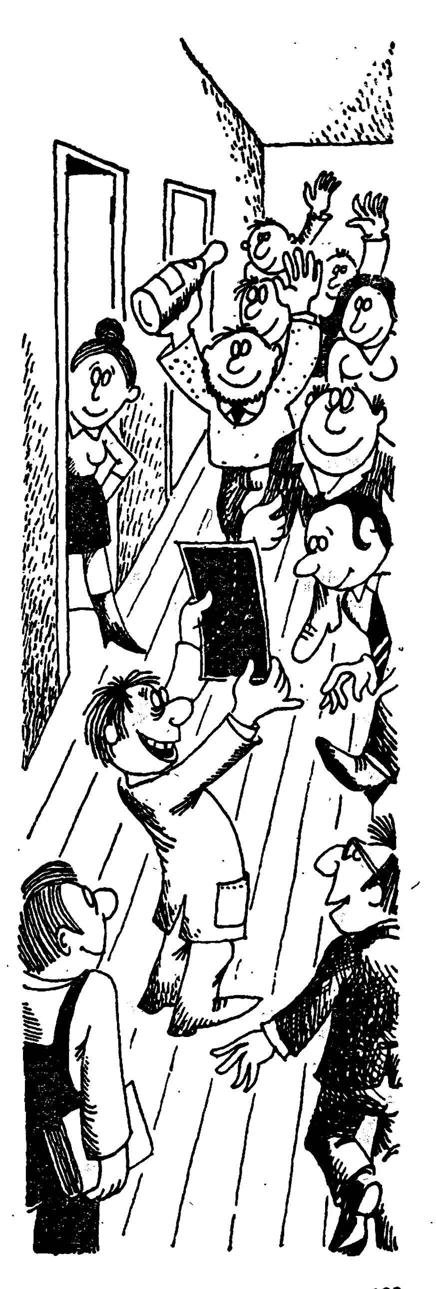
В лаборатории высоких энергий ОИЯИ в Дубне создана двухметровая жидководородная пузырьковая камера. «Людмила» — так назвали эту установку физики — потребовала напряженной работы большей части сотрудников всей лаборатории. По финансовым и трудовым затратам «Людмила» в 5—10 раз превышает сложный экспериментальный комплекс для работы с нейтральными ка-мезонами.

Зажатая в большом магните, окруженная со всех сторон многочисленными трубами и трубками, вспомогательными конструкциями, камера, скажем прямо, не производит особенно приятного впечатления. Не мудре-

но, что один из присутствующих на ее открытии спросил: «Зачем поэтическим именем назвали такое чудовище? Может быть, здесь сыграли роль те же соображения, по которым самыми красивыми женскими именами называют ужасные тайфуны южных морей?»

Директор лаборатории высоких энергий профессор А. Балдин объяснил это имя так: «Название камеры «Людмила» возникло более или менее случайно, но оно многим понравилось: «Людмила» — «милая людям». Мы хотим, чтобы «Людмила» приносила людям много радости научного творчества и настоящих крупных научных результатов».

Первого января 1970 года «Людмилу» в первый раз начали заполнять жидким водородом. Редкий эксперимент в области физики высоких энергий не нуждался в большом участии специалистов-криогенщиков. А в создании жидководородной пузырьковой камеры их участие было решающим. Поэтому первый пуск «Людмилы» проходил под руководством сотрудников криогенного отдела. Его начальник, доктор технических наук



А. Зельдович, с почти документальной точностью описал самый волнующий момент запуска камеры:

«Камера почти полна. Стоп! Опять закупорка. Меняем фильтр. При первом запуске всегда что-нибудь «летит». Продолжаем заливку. Начинают путаться дни и ночи. Наконец появился уровень жидкого водорода и достиг верхнего стекла. Запираем камеру. Греем. Дальше опять закупорка, и еще одна. Потом пришлось срочно перепаивать в пульте управления. И, наконец, включаем камеру на цикл. Два сотрудника упорно высматривают треки глазом. Но вот кончается монтаж системы фотографирования, и начинается съемка. Первый пробный кусок пленки. В оперативном журнале появляется запись: «8 января, 14.20, Шафранов обнаружил на пленке треки!!!» Все ходят счастливые. Выполнена программа-максимум. Устанавливаем еще один экспериментальный факт — пробка от шампанского до потолка не долетает, только до мостового крана».

В феврале 1971 года камеру начали демонтировать для перевозки в Серпухов, в Институт физики высоких энергий. В течение полугода продолжался до предела напряженный труд по демонтажу, перевозке и сборке «Людмилы». Иногда до семи грузовиков в день отправляли из Дубны и соответственно принимали в Серпухове сотрудники отдела водородных камер.

Начальник установки вздохнул облегченно, когда в окно камеры благополучно вставили 700-килограммовое оптическое стекло. В сентябре «Людмила» возродилась из отдельных деталей на новом месте. Начались водородные испытания. Ученым предстояло вторично вдохнуть в камеру жизнь.

«Первым впечатлением, — вспоминал А. Балдин, — оставшимся у большинства людей, ознакомившихся с системами камеры, было: «Не может быть, чтобы это бесконечное число узлов и соединений безотказно работало, — слишком оно велико».

«Во всяком случае, не может быть, чтобы после сборки все сразу заработало, — так не бывает» — это уже мнение некоторых известных специалистов, высказанное в категорической форме.

Но сразу, «без дыма», как иногда случается, заработал электромагнит — одна из наиболее крупных и важных частей всей установки. Он создает магнитное поле до 30 000 гаусс в шахте объемом 6 кубических

метров, куда в «дьюаре» (термосе) опускается водородная пузырьковая камера.

Строго по графику и без сбоев прошел первый пуск камеры. Все системы установки работали безотказно. В конце сентября — начале октября «Людмила» уже работала в пучке протонов с энергией 35 миллиардов электрон-вольт и на ней были получены первые фотографии ядерных реакций.

Теперь у физиков появились новые заботы: чтобы начать рабочие облучения, надо было прежде всего ликвидировать крупные и мелкие недоделки. Как ни привлекательна для физиков-экспериментаторов большая величина магнитного поля, она становится еще интересней, если точно измерена. Причем измерена в объеме водородной камеры при рабочих условиях — при температуре минус 248° С!

Ленинградские специалисты сконструировали механизм, автономно работающий в корпусе собранной камеры по командам системы телеуправления. Согласитесь, условия работы этого прибора ненамного легче, чем у знаменитого лунохода.

14 января 1972 года в Протвине состоялось официальное открытие жидководородной камеры «Людмила». Академик Н. Боголюбов сказал: «В мире существует всего лишь несколько подобных камер. Однако эта имеет существенное преимущество. Это будет первая крупная установка подобного рода, работающая на самом большом в мире советском ускорителе заряженных частиц в Серпухове. Дубненская жидководородная камера даст возможность институтам и университетам социалистических стран, в том числе и Советского Союза, включиться в исследования элементарных взаимодействий и элементарных частиц при самых высоких энергиях, полученных на гигантском ускорителе. Ученые разных стран смогут получать и исследовать сотни тысяч снимков следов уникальных ядерных «событий».

Возник даже термин — «физика на расстоянии», означающий, что физикой высоких энергий могут заниматься не только те, кто непосредственно работает на крупнейших ускорителях и установках, подобных «Людмиле». В пузырьковой камере, напоминающей завод не только по технической сложности, но и по количеству «продукции», делаются миллионы снимков в год, на которых «бесстрастно» и «непредвзято» — без всяко-

го отбора — зафиксированы все элементарные частицы, попавшие в камеру, и все, что с ними произошло в ее объеме.

После первичной обработки этих фотографий на специальном просмотровом автомате вся содержащаяся в них информация записывается на магнитную ленту. В таком удобном виде «полуфабрикаты» информации, поступающие из большой камеры или из такого эксперимента, как опыт по проверке теоремы Померанчука, можно уже рассылать в самые различные институты. В этом факте видно рождение нового способа исследований как бы на расстоянии. «Физика на расстоянии» — так иногда называют сейчас этот способ — сможет в недалеком будущем приблизить к передовому фронту науки гораздо больше людей, занимающихся изучением микромира.

Ученый, работающий за многие тысячи километров от Серпухова, сможет обнаружить новые частицы, ядерные реакции или неизвестный раньше тип взаимодействия между элементарными частицами.

ПЛОДЫ И КОРНИ

Явлений знак узнай
и будешь властен...

Великое Язу

От булыжника к антивеществу

Сегодня все объясняют с цифрами в руках. К ним апеллируют математики и биологи, кибернетики и демографы, экономисты и писатели-очеркисты. Начнем с них и мы.

Строительство недавно запущенного в Батавии, в США, крупнейшего ускорителя на энергию до 400 Гэв обошлось государству в 250 миллионов долларов. Примерно столько же будет стоить аналогичная машина, к сооружению которой приступили в ЦЕРНе — институте, объединяющем ученых западноевропейских стран. Расходы на конструирование и изготовление экспериментальной аппаратуры для работы на ускорителях составляют добрую половину стоимости самого ускорителя.

Ни одна другая область фундаментальных исследований, кроме физики элементарных частиц, не может «похвастаться» столь грандиозными затратами. Но это не прихоть ученых, не упущение финансовых или планирующих органов. Это насущная необходимость.

Каждая новая крупинка знания о мире элементарных частиц требует все больших и больших усилий. Продвижение вперед в этом направлении затруднительно не только для отдельной лаборатории или института, но и для отдельного государства. Выход — в развитии международных коопераций ученых, в рамках которых стало возможным создание и эффективное использование многих дорогостоящих установок.

Уже более пятнадцати лет существует Объединен-

ный институт ядерных исследований в подмосковном городе Дубна. Вместе с советскими учеными здесь работают 400 физиков и инженеров из социалистических стран — участниц института. Только в одной научной группе лаборатории высоких энергий ОИЯИ, недавно закончившей важный эксперимент в Серпухове, было четыре рабочих языка.

Между ОИЯИ и ЦЕРНом давно установлены деловые контакты. На Серпуховском ускорителе ставят совместные эксперименты советские ученые и их коллеги из Франции, США, ЦЕРНа.

Недавно на митинге, посвященном утверждению проекта протонного ускорителя на 400 Гэв, профессор Дж. Адамс, директор лаборатории ЦЕРН-2, выразил мнение, что ускоритель следующего поколения — на энергию 10 000 Гэв — будет «тройка-троном» — машиной, созданной совместными усилиями СССР, США и Западной Европы.

Но не слишком ли дорогой стала физика элементарных частиц? Американские ученые подсчитали, что все затраты на фундаментальные исследования от Архимеда до наших дней не превышают стоимости нынешнего десятидневного валового национального продукта США! Вот первый неожиданный вывод: расходы на фундаментальные науки растут медленнее, чем богатство общества. А вклад их в создание современного уровня материального производства огромен.

Интересно, однако, что по этому поводу говорят сами физики.

«Как показывает история, — говорил член-корреспондент АН СССР А. Балдин, — открытие фундаментальных законов природы рано или поздно очень сильно отражается на жизни общества. Сила фундаментальной науки в том, что она дает качественно новые идеи. А с их помощью удается вдруг, сразу, скачком решить много сложнейших практических задач. Убедительный пример — проникновение новых методов квантовой теории поля (которые развивались специально для построения теории элементарных частиц) в физику твердого тела. А уж физика твердого тела (сверхпроводимость, физика полупроводников, физика металлов и др.) имеет самое прямое отношение к технике».

«Невозможно заранее предугадать практические при-

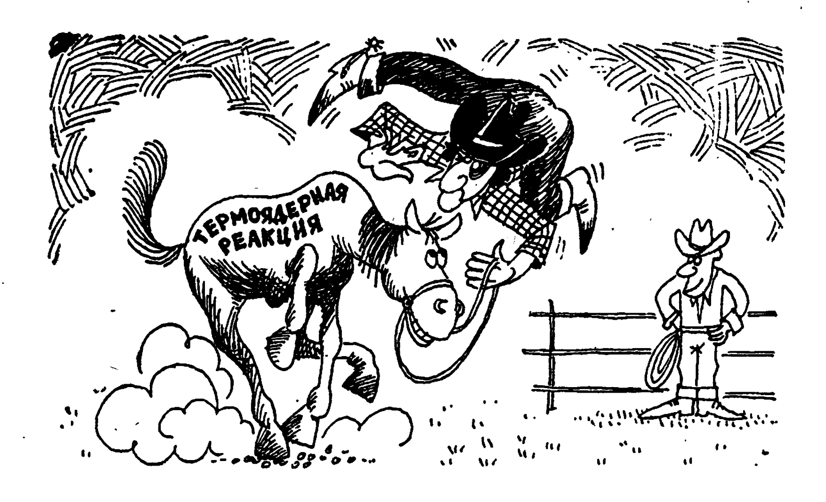
менения вещей, которые еще не изучены, — считает член-корреспондент Ф. Шапиро. — Вот пример из прошлого. Дж. Дж. Томсон открыл электроны: в результате мы имеем электронику, телевизоры, полупроводники. А ему просто было любопытно изучать, как там протекают токи в газах. Сейчас нельзя говорить о каких-то конкретных будущих возможностях использования ядерных сил в практике. Можно только утверждать, что если их не изучать, то никаких возможностей не появится. Будут новые знания, появятся и изобретения в этой области. Но если их не будет, то можно писать только научно-фантастические романы».

«Я мог бы привести множество примеров, — говорит академик Н. Боголюбов, директор ОИЯИ, — когда, казалось бы, чисто теоретические фундаментальные исследования давали тот задел, который вызвал к жизни создание новых областей техники. По моему глубокому убеждению, проникновение в тайны глубинного строения материи должно привести к большим, может быть, совершенно неожиданным практическим приложениям. Конечно, всех интересуют плоды науки, и это естественно. Но при этом следует уделять внимание и глубоко зарытым корням того дерева, на котором такие плоды могут расти».

Хорошо сказал лауреат Нобелевской премии А. Сент-Дьерди: «Достаточно самого среднего умственного развития, чтобы усмотреть тот огромный вклад в развитие человечества, который внесла новейшая наука, чтобы именно в науке увидеть лейтмотив прогресса и то, что задает тон нашему XX столетию. Невозможно не видеть, что практически все мы в долгу перед наукой, и если изъять ее плоды из нашей жизни, то от всей нашей цивилизации ничего не останется».

А теперь попробуем заглянуть в будущее. Известно, что уровень технического развития цивилизации зависит от ее энерговооруженности. Специалисты по инопланетным цивилизациям (уже есть и такие!) определяют несколько ступеней в развитии цивилизации,— начиная с создания единого энергетического хозяйства планеты и кончая управляемым энерговыделением звездных скоплений.

До проникновения в микромир человек пользовался случайно найденными им на поверхности Земли источниками энергии: костром из веток, каменным углем,



нефтью. Потом он научился использовать энергию падающей воды.

Из всех наук о природе только физика элементарных частиц дала человечеству новый источник энергии — атомный. Это классический пример того, как фундаментальное исследование реакций тяжелых атомных ядер внезапно решило жгучую для человечества проблему получения энергии.

Ученые обнаружили, что в реакции слияния двух легких ядер тоже выделяется огромная энергия—термоядерная. Управлять ею, однако, еще не научились. Сейчас это первоочередная практическая задача, над решением которой работают большие научные коллективы.

Для развития цивилизации важно не только получение энергии во все возрастающих количествах, но и возможность удобной ее концентрации и управления ее выделением.

Первобытный человек использовал ничтожную часть энергии, заключенной, скажем, в одном килограмме вещества, когда бросал на охоте камень. Реакции деления атомных ядер тяжелых элементов — необычайно мощный, управляемый и весьма концентрированный источник энергии. Килограмм урана или плутония «заменяет» тысячи тонн лучшего химического горючего и «действие» 10^{13} булыжников. Это число превышает количество камней, брошенных всеми жившими когда-либо на Земле людьми!

Но в «запасниках» физиков есть кое-что еще. При встрече частицы и античастицы происходит реакция аннигиляции — уничтожения. Электрон и позитрон исчезают, превращаясь в квант энергии. Вот она, вековечная мечта человечества о полном превращении массы вещества в энергию! Эффективность использования всей энергии, заключенной в веществе, в тысячи раз больше, чем при делении ядер. Но...

«Но пока антивещество стоит много дороже той энергии, которая выделится при его сгорании, — говорит член-корреспондент АН СССР Д. Блохинцев. — Не исключено, однако, что его можно будет использовать в качестве концентрированного топлива для космического транспорта. Но сначала, конечно, придется преодолеть трудности, связанные с хранением, транспортировкой антивещества и т. д.».

Ну а если дать простор фантазии, то далекое будущее энергетики можно представить себе так...

На астероиде или на искусственно созданной планете получается энергия по циклу системы реакций синтеза легких ядер — то, что является источником энергии нашего Солнца и множества других столь же старых звезд. В то же время на Земле энергию черпают управляемым синтезом элементарных частиц из свободных кварков, которые научились получать в любом количестве.

Безудержная фантазия? На сегодняшний день — да. Но вот что сказал о кварках академик Б. Понтекорво: «Если кварки существуют, я не сомневаюсь в том, что они могут быть использованы: стабильное «вещество» с совершенно новыми свойствами обязательно найдет практическое применение». То же самое можно сказать и о «магнитной материи», построенной из монополей Дирака. Опять-таки — если они существуют в природе.

А уничтожить все эти и многие другие «если» могут только фундаментальные исследования в физике высоких энергий, в физике элементарных частиц.

Универсальные машины

Предсказание будущего всегда было делом нелегким и неблагодарным. Действительность оказывалась намного богаче и значительней, чем это представлялось в



прогнозах. И последующие поколения чаще всего удивлялись бескрылой фантазии предшественников.

Сейчас нам трудно понять, как мог Э. Резерфорд всего за год-два до открытия реакции деления ядер сомневаться в возможности какого-либо применения ядерной энергии.

Но вопрос о сегодняшней пользе физики элементарных частиц можно рассматривать не только в плане туманных обещаний, но и конкретных реальных применений.

В 1950 году в американском журнале была опубликована статья известного физика, лауреата Нобелевской премии Е. Вигнера, в которой была такая строчка: «Наша наука с бо̀льшим успехом увеличивает нашу мощь, чем наделяет нас знаниями, представляющими чисто человеческий интерес».

Сейчас, двадцать с лишним лет спустя, с этими словами нельзя согласиться. Даже если не считать открытия атомного источника энергии, физика элементарных частиц пришла бы на смотр наук, полезных человеку, не с пустыми руками.

Накануне I Международной конференции по мирному использованию атомной энергии 1955 года собралась сессия Академии наук СССР, посвященная этим же проблемам. Академик А. Несмеянов уже тогда сказал, что «атомная промышленность дает науке и технике радио-

активные элементы, излучения которых используются в медицине для лечения и диагностики, находят применение в пищевой промышленности, автоматике, дефектоскопии, горной разведке и во множестве других направлений. Химия и физика, металлургия, механика газообразного, жидкого и твердого тела и особенно биология с ее богатством областей и направлений, начиная от физиологии высшей нервной деятельности и кончая агрономией, стали широким полем применения меченых атомов, позволили ввести новые методы работы, сделать новые открытия».

Но что же теперь добавилось нового к этим применениям? И приносят ли какую-нибудь пользу людям самые большие и дорогие устройства физики элементарных частиц — ускорители?

При сооружении одного из первых ускорителей в Дубне строители удивлялись тому, что не подводится специальная железнодорожная колея для вывоза «изделий», которые будет производить эта большая машина.

Циклотроны, фазотроны... Окутанные «таинственным туманом» науки, они привлекают к себе внимание, как все неизвестное и непонятное. Сюда часто приезжают на экскурсию люди, далекие от науки. Большинство из них почтительно и робко взирают на громоздкие сооружения из железа и еще более отдаляются от науки, глядя на ее бездушные установки — символы современности.

Но разве сложные конструкции нефтеперегонного завода более человечны? Просто люди знают, что здесь производят керосин и бензин. Даже огромные средства, затраченные для высадки людей на Луну, представляются полезней, чем расходы на исследования в физике высоких энергий, — такую мысль высказал известный американский физик В. Вайскопф на Тбилисском симпозиуме 1969 года.

К сожалению, для широкой публики практически до сих пор неизвестен огромный вклад, который ускорители, да и вся экспериментальная физика высоких энергий вносят в повседневную жизнь человека.

На мощном синхроциклотроне, созданном еще в конце 1949 года — в тяжелое послевоенное время, — Институт ядерных проблем Академии наук СССР исследовал процесс деления тяжелых ядер под действием

нейтронов. Эти результаты необходимы были для решения задач практического использования атомной энергии. Теперь на ускорителях этого класса работают не только физики, но и представители совершенно иных специальностей: радиохимики и медики, радиобиологи и геохимики, сотрудники научных институтов, непосредственно связанных с промышленностью.

Здесь испытывают на устойчивость к радиационным облучениям солнечные батареи и решается проблема защиты человека от действия радиационных поясов Земли и солнечных вспышек.

Развитие ускорительной техники далеко вперед продвинуло человечество в ядерной медицине и радиотерапии. Больше половины всех известных радиоактивных ядер обнаружены в реакциях, которые физики изучали на ускорителях. Большинство изотопов получают в ядерных реакторах. Но радиоактивный изотоп цинк-72, который применяется для раннего обнаружения рака предстательной железы, получают только на ускорителях.

Медики давно применяют кобальтовую пушку для лечения злокачественных опухолей гамма-квантами, которые испускает радиоактивный изотоп кобальта. Но это излучение поражает и расположенные рядом здоровые ткани. Более перспективно применение протонов и особенно пи-мезонов. При остановке в веществе они выделяют большую энергию в очень небольшом объеме.

Физики уже научились создавать специальные «медицинские» пучки протонов на синхроциклотроне в Дубне и протонном синхротроне в Москве. Медики-клиницисты из Института экспериментальной и клинической онкологии АМН СССР изучают сейчас возможность их использования для улучшения методики лучевой терапии рака.

Так, почти незаметно, ускорители уже давно встретились с человеком.

До сих пор ничего не говорилось об использовании ускорителя в промышленности. С помощью протонов с энергией около 150 Мэв можно измерить толщину графита с точностью до 0,0015 процента по сравнению с 2 процентами, которые получаются при использовании для этой цели альфа-частиц или электронов. После радиационной обработки материалов на ускорителе повышается их точка плавления, увеличивается сила на-

тяжения, прочность, меняется структура и свойства полимерных материалов.

Американский физик Л. Роузен, выступая на национальной конференции по ускорителям в Чикаго, сообщил, что из 1000 ускорителей, работающих в США, лишь менее 150 используются исключительно для фундаментальных исследований. Около $^1/_3$ используется в промышленности и медицине, а остальные — в прикладных науках.

Косвенным образом физика элементарных частиц влияет на ход технического прогресса человечества.

«Будучи действительно передовой наукой, — говорил академик Б. Понтекорво, — она для своих нужд прямо развила ряд новых методических разработок или стимулировала их развитие. Эти разработки, часто на пределе возможностей современной техники, нашли практическое применение в ядерной технике, в медицине, в биологии, в исследовании космического пространства, в разведке полезных ископаемых, в вычислительной и оборонной технике. Не случайно, что именно физика элементарных частиц стимулирует сейчас создание сверхпроводящих магнитов, которые, без сомнения, найдут важное практическое применение в различных областях техники».

Группа криогенного отдела лаборатории высоких энергий ОИЯИ долго работала над созданием жидководородной и дейтериевой мишени для экспериментов с ка-ноль-мезонами. В процессе этой работы ученые разработали «дьюары» специальной конструкции. Ими заинтересовались многие промышленные организации. А недавно приезжали и представители сельского хозяйства. Начальник криогенного отдела А. Зельдович вспоминал, как «попутно» с созданием жидководородных камер им пришлось разработать крупные водородные ожижители. Ожижители эти по чертежам физиков стали выпускать серийно. Впервые в СССР на них получался жидкий параводород.

Академик Г. Флеров, директор лаборатории ядерных реакций ОИЯИ, так сказал о практическом применении достигнутых в лаборатории результатов: «Вся изощренная техника, разработанная у нас в лаборатории для выделения отдельных тяжелых ядер из большой массы вещества, уже используется в тонкой промышленной технологии. Образно выражаясь, мы можем найти иголку в стоге сена. Чувствительнейшие методы анализа,

применяемые у нас, давно используются при получении особо чистых химических веществ».

Удалось обратить на пользу даже принципиальный недостаток, присущий ускорителю электронов — синхротрону. Двигаясь по круговым орбитам в магнитном поле ускорителя, электроны тормозятся, испуская «синхротронное излучение». Это явление, с которым практически невозможно бороться, препятствует дальнейшему разгону электронов в циклических машинах. Но для биологов, химиков и медиков «синхротронное излучение» — желанное, поскольку никаким другим способом невозможно получить столь интенсивные потоки мягких (поляризованных!) рентгеновских квантов. И, как это ни парадоксально звучит, уже создаются специальные ускорители, на которых для исследований используются уже не сами ускоренные электроны, а как раз то, что мешает их ускорению.

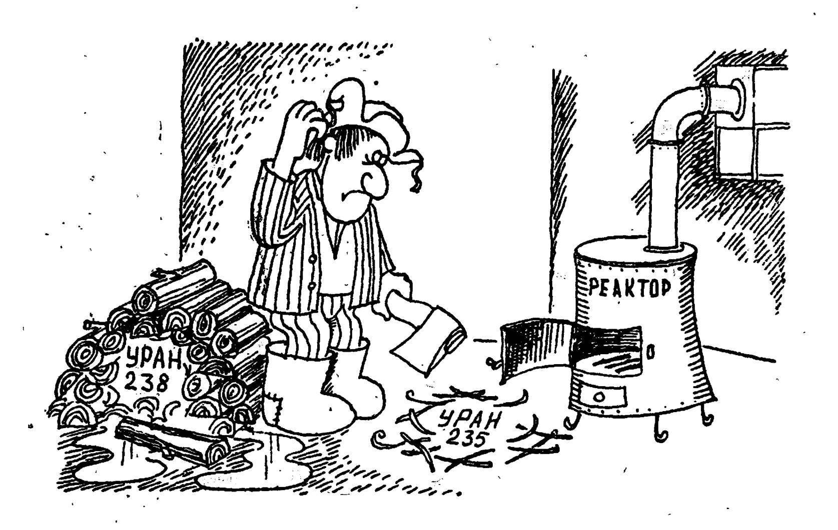
Ускоритель — генератор энергии

Ускорители элементарных частиц используются сегодня очень широко. Но даже при богатом воображении трудно перебросить мостик от слова «ускоритель» к слову «генератор» — аппарат, вырабатывающий энергию. Прямо-таки бьет в глаза вопиющее противоречие в самом сочетании этих слов. Как ускоритель может быть генератором энергии, когда он сам непрерывно потребляет ее в солидных количествах?

В самом деле, если прекратить подачу тока, огромная машина тотчас замрет. И никому не известно о таких случаях, когда бы ускоритель возвратил затраченную энергию, не говоря уж о том, чтобы производить ее.

И тем не менее то, что утверждает заголовок, не сказка. Еще, правда, и не быль, но уже вполне реальная возможность. Оказывается, с помощью ускорителя элементарных частиц можно получать топливо для ядерной энергетики.

В 1955 году дала ток первая в мире атомная электростанция в Обнинске под Москвой мощностью всего лишь в 5 мегаватт. Сейчас во всех странах работает более 230 атомных электростанций общей мощностью в 20 000 мегаватт. Пока это всего лишь 2 процента энергетических мощностей мира. Но, по прогнозам энерге-



тиков, к 1980 году процент этот увеличится до 30, а к концу столетия — до 50!

Пришло время, когда атомная энергия из неожиданной находки физики микромира превращается в важный энергетический ресурс планеты.

«Легко убедиться, — говорит академик Н. Боголюбов, — что за период от I Международной женевской конференции по мирному использованию атомной энергии 1955 года до IV — в сентябре 1971 года произошли радикальные изменения во взаимоотношениях «атом — общество».

Действительно, проблема, над которой раньше работали лишь ученые, занимающиеся ядерными реакторами, интересует теперь очень широкий круг специалистов. Генеральная Ассамблея ООН поставила перед IV Женевской конференцией новую важную цель: она должна быть полезна не только для ученых и инженеров, но также для организаторов промышленности, администраторов, экономистов. Атомная энергетика превращается в жизненную необходимость.

А теперь вернемся к проблеме ядерного топлива. Что мы подразумеваем под этими словами? Уран? Да, топливом для ядерных электростанций является природный уран. Но что дарует нам природа? Только 0,7 процента от этого подарка составляет изотоп урана-235 — те «сухие лучинки», что сгорают в реакторе. Все остальное —

«сырые дрова», негорючий уран-238. Если б можно было использовать его, то добытого урана хватило бы на сотни лет. Но в тепловых реакторах выжигается лишь ничтожная его часть.

Если сравнить современные масштабы добычи урана с его «неполным» сгоранием в реакторах, то вывод оказывается неутешительным. Несмотря на чрезвычайную «калорийность» уранового топлива, его слишком мало и не хватит атомной энергетике будущего.

Но природа не скупа. Кроме урана-235, она наделила способностью к делению плутоний-239 и уран-233, лишив нас в то же время возможности добывать их естественным путем: ни того, ни другого изотопа в природе не существует.

Физики-ядерщики знают, однако, что плутоний можно получить из урана-238, а уран-233 — из негорючего природного тория, если облучить их мощным потоком нейтронов.

На VII мировом энергетическом конгрессе академик А. Александров сказал: «Когда мы говорим о практически неисчерпаемых энергоресурсах ядерного горючего, то имеем в виду необходимость и возможность ввода в игру вторичного горючего — плутония и использования благодаря этому большей части запасов урана-238. Без этого не может быть речи о длительном развитии ядерной энергетики в тех масштабах, которые определяются современными темпами технического прогресса, так как ресурсы урана-235 для этого будут недостаточны».

Разведанные запасы сырья могут удовлетворить потребности в уране только до конца 70-х годов. Поэтому уже сейчас встает задача налаживания производства вторичного горючего в больших масштабах.

Плутоний можно получить, имея огромное число нейтронов. Но где их взять? Возникает еще одна проблема — получения интенсивных потоков нейтронов.

Несколько нейтронов рождается при делении ядер в атомных реакторах. Часть из них тут же поглощается для поддержания цепной реакции. А некоторые нейтроны все-таки становятся добычей ядер урана-238. Из отработанных урановых стержней извлекают новое ядерное топливо — плутоний.

Гораздо эффективнее этот процесс происходит в реакторах на быстрых нейтронах. Вокруг активной зоны

реактора, работающего на чистом уране-235 или плутонии, выкладывают негорючий, «сырой» изотоп урана или торий. Поглощая быстрые нейтроны, вылетающие из этой зоны, они превращаются в расщепляющийся материал.

Но пока что перед создателями этих реакторов стоит целый ряд нерешенных инженерных и физических задач. Реакторы должны быть экономически выгодными. А главное, чтобы обеспечить необходимый темп развития ядерной энергетики, количество плутония в них должно удваиваться максимум за 5—7 лет. Все же существующие и строящиеся реакторы на быстрых нейтронах обеспечивают удвоение плутония в 2—4 раза дольше, чем требуется.

Тогда физики предложили другой метод получения делящихся материалов, связанный не с тепловыми или быстрыми реакторами, а с ускорителями элементарных частиц.

Атомные ядра — это настоящие кладовые, набитые нуклонами. Но как их вскрыть — вот в чем проблема. В ядерных реакторах нейтроны освобождаются в реакциях деления. Но есть и другая возможность.

В начале нашего века Э. Резерфорду с помощью примитивного инструмента — источника альфа-частиц, впервые удалось выбить из легких ядер протоны. Но много ли можно добиться, «ковыряя» замок хитроумного ядерного сейфа почти голыми руками? А когда ученые вооружились орудиями большого калибра — мощными ускорителями элементарных частиц, им удалось вызвать реакцию расщепления ядер тяжелых атомов. Ускоренные протоны так сильно встряхивают переполненные слабо связанными нуклонами ядра, что из них одновременно высыпается несколько десятков частиц. Один протон большой энергии может вытряхнуть около 17 нейтронов из ядра урана и около 12 из ядра свинца. Освобожденные частицы имеют достаточно большую энергию и, сталкиваясь с другими ядрами, в свою очередь, встряхивают их. Так одна за другой раскрываются «двери» ядерных кладовых.

В реакциях деления удается извлечь лишь по нескольку нейтронов из ядер дефицитных делящихся материалов. Но если поместить кусок свинца в мощный пучок протонов, вылетающих из ускорителя, свинец превратится в генератор нейтронов.

А теперь вместо свинца поместим достаточно протяженную массивную мишень из урана-238 или из тория. Достаточно включить ускоритель, и дело закипит: протоны начнут трясти ядра мишени, а осыпающиеся нейтроны будут «подслушивать» негорючий уран. Такой метод получения вторичного ядерного топлива назвали электроядерным.

Идея этого метода, его физические основы известны давно. Но раньше он не мог быть применен из-за отсутствия необходимого для него ускорителя. У физиков сегодня большой выбор: циклотрон, фазотрон, синхрофазотрон... Но ни одна из существующих машин для этой цели не подходит.

Серпуховской ускоритель разгоняет впущенные в него протоны до 70 000 мега-электрон-вольт. Но число одновременно ускоряемых им частиц невелико — около 10^{12} протонов в секунду. Для промышленного же производства нейтронов электроядерным методом достаточно сообщить протонам энергию 1000 Мэв, но ускоритель должен выбрасывать в миллион раз больше частиц.

Как заставить магнитное поле ускорителя собирать, удерживать и разгонять такое огромное количество протонов? В сильноточном ускорителе частицы должны фокусироваться магнитным полем еще более жестко, чем даже в Серпуховском. Но можно ли одновременно увеличить плотность пучка протонов и сохранить одинаковой частоту его обращения?

Казалось, что удовлетворить одновременно и тому и другому требованию невозможно. Но что скажет эксперимент, да и с чем экспериментировать? Ведь прежде чем строить сложный и дорогостоящий ускоритель, надо быть уверенным, что он обязательно заработает.

Разорвать заколдованный круг удалось советским ученым, которые под руководством члена-корреспондента АН СССР В. Джелепова и профессора В. Дмитриевского создали модель сильноточного протонного циклотрона.

Когда говорят о создании модели новой машины, речь идет о ее уменьшенной копии. А что означает создание модели ускорителя? Миниатюрный ускоритель, все размеры которого сокращены в несколько раз, может быть лишь макетом, а не моделью. Маленький магнитик не сможет разогнать протоны до энергии в 1000 Мэв, а промоделировать движение частиц надо именно с той скоростью, какую они имеют при такой энергии.

Легко сказать, найти модель для протона. И все-таки ее нашли. Электрон! Полноправный гражданин мира элементарных частиц, электрон тоже владеет единичным зарядом, но почти в тысячу раз легче протона. Электроны с энергией всего 0,5 Мэв имеют ту же скорость, что и тяжелые протоны, ускоренные до 1000 Мэв, и прекрасно имитируют движение протонов в магнитном поле.

На маленькой электронной модели протонного циклотрона диаметром всего в два метра удалось подобрать необходимую конфигурацию поля. Модель оказалась вполне жизнеспособной. В начале 1971 года директор лаборатории ядерных проблем ОИЯИ В. Джелепов сообщил: «Эксперименты на электронной модели показали, что можно ускорять протоны до энергий порядка 1000 Мэв и одновременно будут вылетать 10^{18} частиц в секунду! Мощность такого пучка будет достигать сотен мегаватт. А это путь к созданию сверхмощных мезонных фабрик, нейтронных генераторов и др.».

«Мезонная фабрика» — такое название закрепилось за ускорителями, рассчитанными на энергию протонов не больше 1000 Мэв, но с интенсивностью частиц на несколько порядков выше, чем у обычных машин. На этих установках можно будет получать мощные пучки пи- и мю-мезонов. Пучки эти необходимы не только для фундаментальных исследований, но и для чисто практического применения.

В нашей стране есть малоосвоенные места с дешевыми источниками энергии. Например, Восточная Сибирь с ее неисчерпаемыми запасами гидроэнергии. Сейчас ток, вырабатываемый сибирскими ГЭС, по линиям высокого напряжения большой протяженности вливается в общую энергосистему. Потери на этих линиях довольно велики. Сильноточный ускоритель с мишенью-реактором мог бы прямо на месте с большой экономической выгодой перерабатывать дешевую энергию в ядерное топливо. А компактную продукцию такого «завода» нетрудно переправить туда, где она необходима.

Невозможно сказать, когда, где и в каком варианте будет создана такая установка для получения вторичного горючего. Это зависит от многих обстоятельств: и от дальнейшего развития ускорительной техники, и от того, удастся ли найти удачное инженерное решение конструкции реактора-мишени, и от того, будет ли эта реальная установка экономически выгодной.

Но ясно одно. Предложен новый способ получения расщепляющихся материалов, основанный на глубоком знании поведения элементарных частиц больших энергий.

Рукотворные атомы

Летом 1971 года подмосковный город Дубна вновь встречал гостей — участников IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра. На одном из заседаний конференции к кафедре один за другим подходили трое советских ученых и рассказывали о достижениях в новой области исследований, родившейся в Дубне, — мезонной химии.

«Работы советских ученых в области мезохимии лучшие в мире. Мы хотели бы работать в сотрудничестве с ними», — сказал выступивший на конференции профессор Л. Розен из США.

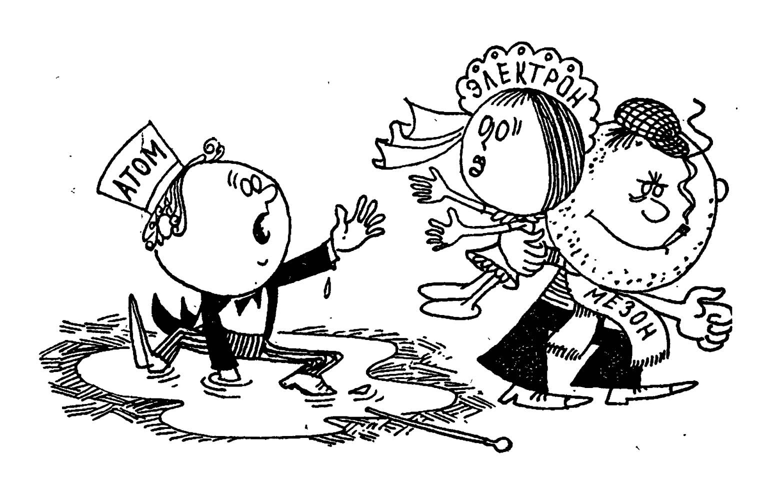
Что такое мезохимия?

Вдоль стены большого зала синхроциклотрона ОИЯИ идет ряд отверстий-каналов, по которым из ускорителя «подаются» для экспериментов различные частицы: протоны, нейтроны, пи-мезоны. Там, где проходят пучки мю-мезонов, стоят установки, на которых с помощью этих частиц изучаются важнейшие характеристики химических реакций. Установки эти очень похожи на многие другие, расположенные в зале. В них много «физического» — счетчики элементарных частиц, массивные блоки свинцовой защиты, и нет ничего «химического» — ни колб, ни пробирок, ни перегонных аппаратов. Отсутствует также и непосредственный контакт ученого-химика с исследуемым веществом. Во время работы ускорителя ученые находятся за несколько десятков метров от зала и только по показаниям приборов следят за идущими в веществе мишени реакциями.

Как возник этот новый удивительный метод изучения химических свойств элементов?

Мю-мезон — один из ветеранов таблицы элементарных частиц. Его нашли в космических лучах еще в 1938 году, через несколько лет после предсказания японским физиком-теоретиком Х. Юкава легкой нестабильной частицы — переносчика ядерных сил.

Однако быстро откликнувшаяся на призыв физиков



частица вскоре разочаровала их: мю-мезон не годился для предлагаемой ему роли. Но тогда возникает вопрос: какое место в природе занимает эта частица, во всем похожая на электрон, но с массой в двести раз большей? Вопрос, заданный тридцать лет назад, остается и по сей день без ответа, хотя находится в центре внимания физиков.

«По-видимому, — говорит академик М. Марков, — одна из фундаментальных проблем современной теории элементарных частиц — это проблема, связанная с пониманием различий в физических свойствах мю-мезона и электрона и места мю-мезона и электрона в систематике элементарных частиц».

Экспериментаторы, работающие на ускорителях, начиная с 50-х годов детально исследовали свойства быстрых мезонов и мезонов, останавливающихся в веществе. А загадочная частица не выдала своей тайны ученым. Зато именно эти работы стимулировали рождение мезохимии.

Мю-плюс- и мю-минус-мезоны рождаются при распаде более тяжелой нестабильной частицы — пи-мезона. Появляются они на свет в сопровождении нейтрино. А эта удивительная частица всегда награждает свидетелей своего рождения каким-нибудь необычным свойством.

Не остаются без «подарка» и мю-мезоны (мюоны). Магнитные моменты всех частиц одного знака имеют строго определенное направление. Про такие мюоны го-

ворят, что они поляризованы. Но каково было удивление физиков, когда они обнаружили, что стоит этим частицам затормозиться и остановиться в веществе, как за несколько миллионных долей секунды, остающихся до их распада, большинство мезонов теряет свою поляризованность. Почему? Что происходит в мишени, поставленной на их пути?

Измерения проводили в разных веществах, но результаты измерений не поддавались интерпретации. В одних мишенях равнение нарушали меньше половины всех мезонов, в других — почти все частицы теряли первоначальную поляризацию. Она менялась и от температуры вещества мишени, и от его молекулярной структуры, наличия примесей и величины напряженности внешнего магнитного поля и от многих других внешних условий.

Крупнейший советский физик-теоретик Л. Ландау одним из первых объяснил, что же происходит с мю-плюс-мезоном, останавливающимся в веществе. Мезон, оказывается, отрывает от одного из окружающих атомов слабо связанный с ним внешний электрон и создает свой собственный атом — атом мюония.

Мюоний экспериментаторы обнаружили. Но оставалось непонятным: что происходит с ним дальше, в самые последние миллионные доли секунды до распада?

У мюония «ядро» с положительным зарядом — мю-плюс-мезон, — а на орбите один отрицательный электрон. Мюоний очень похож на атом водорода. Вот только по весу не дотягивает, ведь мезон в 9 раз легче протона: ядра атома водорода. Да и живет мюоний лишь до распада мю-мезона на два нейтрино и позитрон. Но и за это ничтожное время он не остается «незамеченным» соседними атомами.

По химическим свойствам мюоний — двойник атома водорода. Он вступает в те же химические реакции, что и атом водорода. Значит, мю-мезон в составе мюония в последние мгновения своего бытия ведет необычную для элементарных частиц жизнь — химическую. А это сразу же отражается на направлении его магнитного момента.

Сотрудники Института теоретической и эспериментальной физики поняли и на опыте доказали, что по изменению поляризации мю-мезонов можно с высокой точностью определить абсолютную скорость и тип хими-

ческой реакции мюония, а следовательно, и водорода с веществом. Обычными химическими способами узнать это невозможно. А для мезонного метода здесь нет никакой проблемы. Меченый радиоактивный атом мюония с помощью позитрона, который вылетает при его распаде, «сообщает» о ходе химической реакции из твердого, жидкого или газообразного образца. Это избавляет ученых от необходимости извлекать из исследуемого вещества конечный продукт химической реакции.

Иная судьба у мю-минус-мезона. Как только он затормозится в веществе, атомное ядро сразу же захватывает его на свою орбиту. Отрицательный мюон при этом играет роль «тяжелого» электрона. Так возникает мезоатом — своеобразный «изотоп» существующего в природе элемента. В химическом смысле мезоатом похож на атом реально существующего вещества, который находится в периодической таблице на одну клеточку левее вещества мишени, в которой остановился отрицательный-мезон.

Группа научных сотрудников лаборатории ядерных проблем ОИЯИ несколько лет занималась вопросом: почему, образуя мезоатом, мю-мезоны в различных условиях по-разному меняют направление своих магнитных моментов? После многочисленных и разнообразных экспериментов на ускорителе физики наконец поняли, что стали первыми свидетелями интереснейшего явления — химических реакций мезоатома! В мишени, наполненной водой, атомы кислорода захватывали мю-минус-мезоны и превращались в мезоатомы, похожие на атомы азота: модели атомарного азота. И модели эти были действующими.

Атомы мезоазота сталкивались с атомами, молекулами или обломками молекул среды и быстро образовывали химические соединения. И опять у мезонов нарушалась поляризация. А чуткие приборы, регистрируя электроны, вылетающие из мишени после распада мезонов, тотчас улавливали это изменение. По нарушению же поляризации легко определить ход химической реакции.

Водород — одно из главных действующих лиц в органической химии. Почти 90 процентов всех реакций сложных технологических процессов, таких, как крекинг нефти, происходит с участием атомарного водорода. И если бы с большой точностью были известны абсо-

лютные скорости его реакций, то с помощью ЭВМ можно было бы заранее рассчитать оптимальный вариант любого химического промышленного процесса.

На сегодняшний день это пока лишь мечта. Технология будет отлаживаться методом проб и ошибок в течение нескольких лет или даже десятилетий.

Обычными химическими методами просто невозможно выделить определенный канал химической реакции. Практически всегда реакция протекает неоднозначно, обрастая в разных установках различной «паутиной» из петель побочных реакций. Поэтому значения абсолютных скоростей реакций, полученные разными исследователями, сильно различаются. Расхождения так велики, что, как говорят химики, разница между скоростями реакций в сто раз считается хоть и плохой, но терпимой, в десять раз — удовлетворительной, а в два-три раза — вполне удовлетворительной.

Совсем в иных условиях работают физики, изучающие элементарные частицы. Их методы настолько точны, что получаемые результаты практически не зависят от условий эксперимента. Таким же качеством обладает и новый мезонный метод. С помощью мю-мезонов можно с точностью до 10 процентов определить абсолютные скорости очень быстрых химических реакций водорода и более тяжелых атомов с различными веществами и при разной температуре.

Много беспокойств доставляет химикам и другое, не менее популярное, чем водород, вещество — азот. Азотная кислота — хлеб химической промышленности. Большая химия немыслима без аммиака так же, как полет космической ракеты без гидразина.

Химические свойства атомарного азота, давно известного людям элемента, до сих пор очень плохо изучены. А связано это в первую очередь с его высокой химической активностью. Она мешает выделить механизмы его реакций, определить их количественные характеристики, столь важные для практических применений.

Теперь на помощь приходят мезоатомы. Изучая мезоатомы азота, ученые получили первые сведения о характере химического взаимодействия атомов азота с атомами водорода и молекулами перекиси водорода. С помощью электронной аппаратуры удалось установить, что в воде и водных растворах при комнатной температуре мезоазот вступает в химические реакции

за ничтожно малое время, порядка 10^{-11} секунды. Удалось также измерить абсолютные скорости некоторых из этих реакций.

Разумеется, водородом и азотом дело не ограничивается. Подбирая вещество для остановки отрицательно заряженных мю-мезонов, можно создать «действующие» модели многих других атомов и изучать их поведение. Либо же — с помощью мезоатомов — исследовать различные процессы в окружающей среде.

Дубна — «мекка» мезохимии

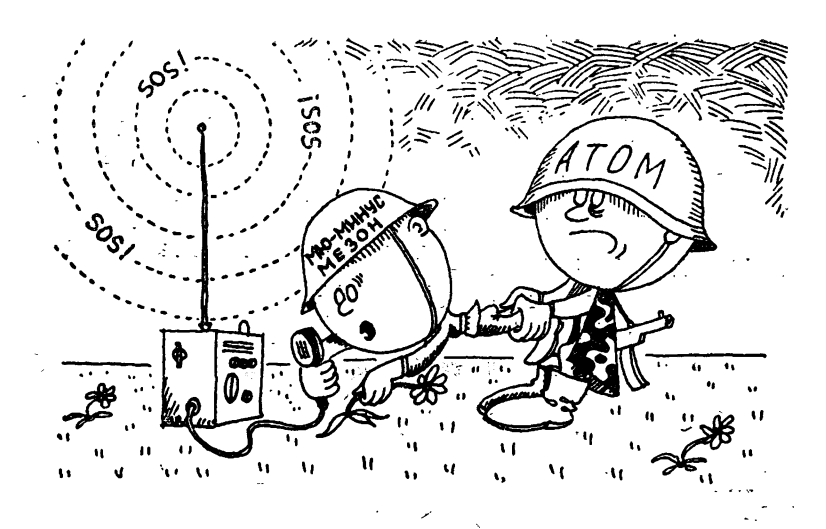
На сцене природы в пьесах «Химия» и «Физика» играют, в сущности, одни и те же исполнители. Только в традиционных химических действиях атомы и молекулы прикрыты такими пышными одеждами из устрашающих названий разных соединений и так скованы химическими канонами, что за всем этим так же трудно разглядеть физическую основу их поведения, как в театре масок рассмотреть настоящее лицо актера.

Д. Менделеев уже после создания периодической системы элементов часто говорил, как ему хочется узнать о причине периодичности химических свойств веществ. Физика, разгадав строение атома, помогла химии познать самое себя — увидеть зависимость, существующую в природе между строением электронных оболочек и химическими свойствами вещества.

Но, как это ни печально, традиционные методы экспериментальной химии не позволяют вскрывать эту зависимость в каждом конкретном случае. Получается так, что экспериментаторы не могут опираться на теорию, а теоретики не имеют необходимого экспериментального материала для проверки своих расчетов. Не помогают и мощные вычислительные машины. Возможности теоретической химии пока что ограничены.

И вот сейчас на переднем крае современной науки «разводит пары» «скорая помощь» с пи- и мю-мезонами на борту, направляющаяся по маршруту «физика элементарных частиц — химия».

Сотрудники лаборатории ядерных проблем впервые обнаружили, что характеристики рентгеновского излучения из мезоатомов отражают особенности химического



строения вещества мишени. Исследуя окислы разных элементов, физики нашли четкую периодичность свойств мезорентгеновского излучения. Не будь периодическая система элементов открыта 100 лет назад, ее можно было предсказать на основании опытов с мюонами.

Мю-минус-мезон, попадая в какой-нибудь атом, успевает до захвата его ядром послать серию сигналов — рентгеновское излучение, — по которым нетрудно догадаться, в «плену» у какого атома он находится.

А могут ли ученые определить, какое вещество находится в наглухо запертой коробке? Сколько ни верти ее в руках, узнать, что у нее внутри, невозможно. На помощь приходит физик-экспериментатор, работающий на мю-мезонном пучке. Облучив коробку отрицательными мезонами, он тут же по идущему от нее рентгеновскому излучению узнает, какие химические элементы в ней находятся.

Тонкий, как карандаш, пучок элементарных частиц, создаваемый на Лос-Аламосской «мезонной фабрике» в США, без труда проникнет в любой внутренний орган человека и даст возможность сравнить излучение здоровой ткани с излучением, испускаемым тканью заболевшей. Ранняя медицинская диагностика — необходимейшее условие для быстрого выздоровления человека — вот что может дать фундаментальное исследование свойств мезоатомов.

Удивительным было также открытие влияния электронной структуры водородсодержащих соединений на вероятность ядерной реакции поглощения отрицательно заряженных пи-мезонов протонами. Пи-мезоны приобрели вторую специальность. Их способность быстро разбираться, в каких условиях находятся атомы водорода в молекулах сложных веществ, открывает перед этими частицами много химических тайн.

Как влияют друг на друга растворитель и растворенное в нем вещество? Этот вопрос оставался без ответа десятки лет. Д. Менделеев предполагал, что растворение не механическое дробление на все более мелкие частицы вплоть до молекул, а химическое взаимодействие. Но доказательств ни у него, ни у последующих поколений химиков не было.

Не так давно физики поместили в пучок пи-мезонов, вылетающих из синхроциклотрона лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, сначала мишень, наполненную дистиллированной водой, а потом — ту же мишень, содержащую водный раствор определенного вещества. И что же? Во втором случае вероятность захвата пи-мезонов изменилась, значит, изменилась электронная структура молекул воды. Так было получено свидетельство вступления воды в химическую реакцию с растворенным веществом.

Что такое кислота? Прямой ответ на вопрос затруднителен даже для специалистов. В монографии «Теоретическая неорганическая химия», изданной в 1969 году, черным по белому написано: «И все-таки после трех столетий работы с кислотами еще нет единого мнения по определению понятия «кислота» и по теории их свойств».

В чем же трудность? Возможно, в том, что до сих пор нет четкого определения главного свойства кислот — их силы. Рассуждения о том, что сила кислоты, по-видимому, связана со структурой ее молекулы, не новость для химиков. Но в их руках не было подходящего инструмента для измерения плотности электронов в разных местах молекулы. И дело не двигалось до тех пор, пока на помощь не подоспели физики.

Несколько кислот одна за другой подверглись воздействию пи-мезонного зонда. По изменению процесса захвата пи-мезонов водородом, входящим в состав этих кислот, нашли распределение плотности электронов

в молекулах. А когда по полученным результатам кислоты расположили в ряд, оказалось, что точно в таком же порядке они следуют по убыванию их силы. Мезонный «силомер» не подвел.

Мезонный метод исследования вещества — крупное достижение ученых социалистических стран. Мезохимия сейчас бурно развивается. Она уже вышла за стены лаборатории ядерных проблем. Дубна сегодня — признанный всеми центр мезохимических исследований. Сюда приезжают ученые многих стран для стажировки в новой области науки.

Глубинные исследования в физике элементарных частиц способствовали появлению нового мощного побега на древе науки. И на ветвях его скоро засверкают драгоценные плоды.

Наверное, недалеко то время, когда будут созданы комплексные комбинаты науки. К мощному сильноточному ускорителю протонов будут примыкать институты физики и биологии, институт получения вторичного ядерного топлива, промышленные научные институты, больницы и другие учреждения. И, конечно же, атомная электростанция, горючее для которой поставляет сам ускоритель и которая снабжает весь этот комплекс почти бесплатной энергией.

МАЛЕНЬКАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Свет Вселенной, наверное, так же
не прост,
как пока еще жизнь на Земле
не проста.
Ярослав Смеляков

Лаборатория для всех

Над нашей головой — бездонная глубина постоянно меняющегося неба. Оно то покрыто облаками и тучами, то играет всеми переливами голубого и синего цвета. Небо — непременный герой лириков и пейзажистов. И даже физики, которые рассматривают его всего лишь как атмосферу, видят в этом слове элемент романтики — романтики науки.

Вместе с атмосферой человек получил в свое распоряжение целую природную лабораторию. Узнал он об этом не так давно, в начале нашего столетия, хотя понятие об атмосфере возникло намного раньше. Сейчас физик знает, что в межзвездном безвоздушном пространстве, словно в вакуумной камере ускорителя, почти со скоростью света летят протоны, из которых на 95 процентов состоит первичное космическое излучение. Долетев до атмосферы Земли, протоны вторгаются в нее. Что при этом происходит?

Да то же самое, что и на Серпуховском ускорителе при столкновении пучка протонов с мишенью. Только в природных условиях событие это гораздо феериченее. Протоны космических лучей с чудовищной энергией сталкиваются с атмосферой и разбиваются на множество отдельных брызг — элементарных частиц, осыпающих поверхность Земли.

Итак, наше прекрасное синее небо не что иное, как мишень космического протонного ускорителя. Этому ускорителю принадлежит рекорд не только по энергии, но и по числу открытых на нем учеными элементарных частиц.

Электроны, фотоны, протоны, нейтроны — вот перечень частиц, открытых еще до создания ускорителей и без участия космических лучей. Но физика элементарных частиц родилась лишь тогда, когда в камере Вильсона была впервые обнаружена «продукция» космического ускорителя: позитроны, мю-мезоны, пи-мезоны, ка-мезоны, гипероны...

В 1956 году удалось наконец с помощью ядерного реактора обнаружить нейтрино. Писательница Г. Николаева так откликнулась на это событие в своем неоконченном романе: «Я люблю нейтрино, предсказанного с надеждой, рожденного с восторгом, окрещенного с нежностью. Я люблю нейтрино, всепроникающего малютку, способного, смеясь, пронзить галактику, даже если ее залить бетоном. Я люблю нейтрино!»

Размышляя над свойствами слабого взаимодействия, ученые пришли к выводу, что эти восторженные строки можно отнести к нейтрино малых энергий, а нейтрино больших энергий их не заслуживают. Почему? Ведь все остальные элементарные частицы становятся более проникающими с увеличением их энергии. А нейтрино — наоборот! Но как проверить экспериментально предположение ученых? Где взять нейтрино достаточно больших энергий?

Вот тут-то и вспомнили опять о космических лучах. Академик М. Марков высказал идею, что для изучения слабого взаимодействия можно использовать нейтрино, место рождения которых — земная атмосфера. На каждый квадратный метр поверхности Земли с неба падает тридцать атмосферных нейтрино в секунду с энергией больше 10 миллиардов электрон-вольт! Очень много, если представлять себе нейтрино чем-то вроде капелек дождя. Но очень мало, если иметь в виду постановку конкретных экспериментов.

Помните, как удалось зарегистрировать нейтрино? Через небольшой бак со сцинтиллирующей жидкостью пропускали колоссальной интенсивности поток нейтрино из реактора. Но космический ускоритель не заставишь давать этих частиц побольше. Потребовался бы гигантский бак, чтобы с достоверностью зафиксировать в нем атмосферные нейтрино.

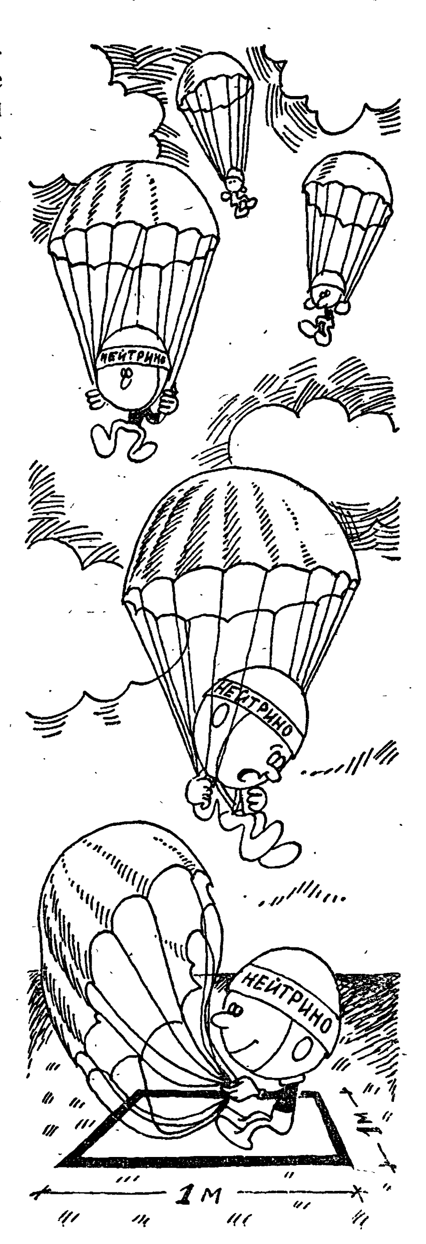
И тогда ученые поставили опыты, в которых участвовал весь земной шар: все вещество земного шара игра-

ло роль большой мишени в слабом потоке падающих нейтрино.

Наша Земля прозрачна для нейтрино. И тем не менее одна миллионная доля их потока застревает в этой огромной мишени. В момент реакции нейтрино с веществом Земли возникает легкая заряженная частица — мю-мезон, которую можно зарегистрировать обычным счетчиком. А зарегистрировав ее, узнать о взаимодействии нейтрино больших энергий с веществом.

Но вот трудность. Точно такие же мю-мезоны выдает и космический ускоритель; и отличить их от мю-мезонов, которые рождаются от нейтрино, невозможно. Где же выход? Он один — надо надежно укрыться от нежеланных гостей (космических мю-мезонов), поставив на их пути непроницаемую преграду — трехкилометровую толщу земной коры.

В 1966 году грандиозная установка из 36 пятиметровых счетчиков, содержащих 16 тонн специальной жидкости, была собрана под землей на глубине более трех километров в шахте золотых рудников около Иоганнесбурга в Южной Афри-



ке. Полтораста чувствительнейших фотоумножителей, непрерывно просматривая, сцинтиллирующую под действием элементарных частиц жидкость, зарегистрировали в течение года 10 атмосферных нейтрино.

Такие же нейтрино обнаружила и другая группа ученых на глубине 2300 метров в Индии. Результаты этих экспериментов, а затем и опытов на ускорителях подтвердили предположения ученых.

В последние годы космические лучи вновь вышли на авансцену. Для построения теории элементарных частиц важно не столько доскональное изучение свойств известных частиц, что, конечно, удобнее делать на ускорителях, сколько поиски новых частиц — кварков, промежуточных бозонов, монополей Дирака и проверки фундаментальных теорем. А здесь все решает энергия.

«Бесплатный» космотрон сейчас — единственный источник частиц таких энергий, которые пока невозможно получить искусственным путем. Некоторые ученые (например, Ф. Дайсон) даже считают, что будущее физики высоких энергий не в строительстве ускорителей на все большие энергии, а в сооружении гигантских регистрирующих установок, работающих на космических лучах.

На самых тяжелых советских спутниках Земли типа «Протон» была установлена специальная аппаратура и мишени для исследования взаимодействия протонов первичного космического излучения сверхвысоких энергий с веществом. Пронизывая атмосферу, спутник выносил содержащиеся в нем мишени и приборы в поток ускоренных в космосе протонов, подобно тому как мишень, находящаяся в шлюзе, в определенный момент выскакивает навстречу протонному пучку Серпуховского ускорителя. Попутно заметим, что на спутниках серии «Космос» находятся детекторы для регистрации античастиц и антиядер в первичном космическом излучении.

Мы говорили, что мю-мезоны значительно тяжелее электронов. Возможно, в этом различии заключена одна из самых глубоких тайн микромира. Но отличаются ли они от электронов чем-нибудь еще, кроме массы? А если нет, то в чем же тогда причина «тучности» мезона?

Теоретики пытаются ответить на эти вопросы, предполагая, что существуют какие-то взаимодействия, специфические для той или другой частицы. Задача экспе-

риментаторов — найти различие в поведении мюонов и электронов. На ускорителях никакой разницы обнаружить не удалось. Может быть, она проявляется только при очень высоких энергиях?

На высокогорных научных станциях мира внимательно изучают рождение мю-мезонов космическими протонами огромных энергий. А на дне глубоких шахт ученые измеряют угловое распределение мезонов, образующихся в атмосфере.

В последнее время в этих экспериментах получены результаты, отличные от тех, что дают теоретические расчеты. Результаты эти стали предметом оживленных дискуссий.

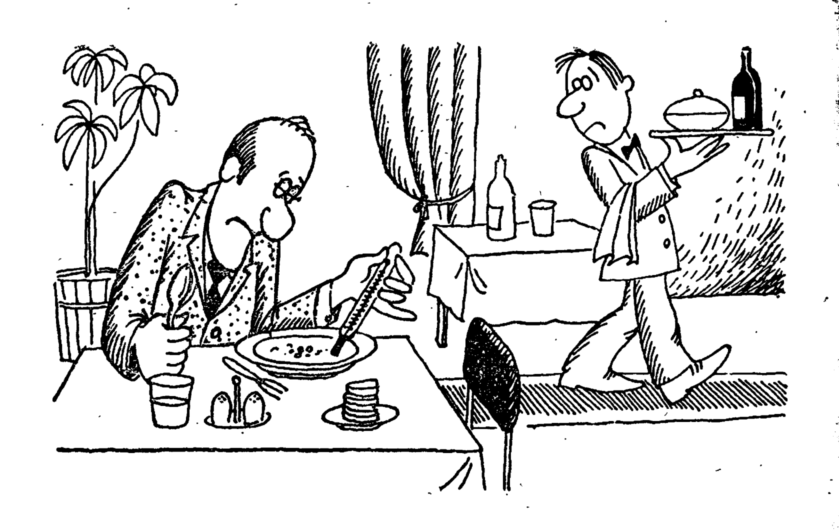
«Ложка» для Солнца

Однажды в старой заброшенной шахте в штате Южная Дакота, в США, опять появились люди. Они не были похожи на шахтеров, и привела их туда не проблема восстановления заброшенных рудников и не поиски полезных ископаемых. В 1968 году Р. Дэвис с группой сотрудников на глубине полутора тысяч метров собрал первый «телескоп» для получения информации о... Солнце.

Телескоп под землей? Но ведь такие приборы располагают обычно в горах, где атмосфера более прозрачна. Наконец, для избежания оптических помех их поднимают на аэростатах почти до границы земной атмосферы или на спутниках в космическое пространство.

Новый прибор Р. Дэвиса — совершенно необычный телескоп. Это огромный цилиндрический бак шести метров в диаметре и пятнадцати метров длиной. Он заполнен тетрахлорэтиленом — жидкостью, содержащей хлор. У прибора нет линз и всего того, что обычно ассоциируется с понятием оптического телескопа. Но с помощью обычного телескопа и невозможно заглянуть в глубинные слои Солнца.

Фотоны возникают в центральной части нашего светила, которая занимает всего лишь одну миллионную долю объема Солнца. Поэтому фотонам надо преодолеть огромную массу вещества, чтобы выбраться на поверхность. Конечно, они быстро погибают при первых же



взаимодействиях, рождая другие фотоны с меньшей энергией. Через миллионы лет изнутри до поверхности Солнца добираются далекие потомки первичных частиц, которые уже ничего не «помнят» о своем происхождении.

Сколько ни смотри на поверхность супа, ни за что не догадаться, густой он или жидкий. Для этого надо помешать суп ложкой. Не имея градусника, невозможно определить и его температуру. Ученые, изучающие Солнце оптическими методами, находятся в такой же ситуации. Они могут исследовать солнечный свет, образующийся в основном на поверхности, но не имеют ни «ложки», ни «термометра» для получения сведений о его ядре.

А вопросов накопилось много. До сих пор лишь в общих чертах известно, что происходит в центральной части Солнца. Еще в 1920 году А. Эддингтон выдвинул гипотезу, что Солнце черпает энергию из термоядерных реакций, при которых легкие элементы превращаются в более тяжелые. Но как найти подтверждение этой гипотезы? Как узнать, какие именно ядерные и термоядерные реакции там протекают? Какую температуру и плотность имеет сердцевина Солнца? Можно только догадываться, что ядро нашего светила значительно плотнее свинца и раскалено до 15 миллионов градусов.

Вопросы остались бы без ответа, если бы не нейтри-

но. Для просвечивания Солнца как раз и нужна была именно такая частица со «скверным», «необщительным» характером, обладающая из-за этого необычайной проникающей способностью. Нейтрино рождаются в центре Солнца, когда водород превращается в гелий и выделяется огромное количество энергии. Часть этой энергии расходуется на освещение и отопление нашей планетной системы.

Если представления ученых об источнике энергии Солнца правильны, то, значит, Земля постоянно принимает настоящий «душ Шарко» из солнечных нейтрино. Сто миллиардов этих частиц должно ежесекундно падать на каждый квадратный сантиметр ее поверхности!

Но самое главное не в этом колоссальном числе. Главное в том, что нейтрино, родившись в центре Солнца, разлетаются во все стороны, даже не замечая громадной солнечной массы, сквозь которую они движутся. Достигают Земли они в «первозданном виде», принося с собой не только 10 процентов всей излучаемой Солнцем энергии, но и ценнейшие сведения о его ядре.

Удивительная ситуация: солнечный свет не дает ученым ответа на мучающие их вопросы, и в то же время необходимая информация буквально носится в воздухе в виде солнечных нейтрино. Если бы удалось измерить интенсивность и энергию нейтрино, то ученые получили бы в свои руки одновременно и «ложку» и «термометр» для определения температуры и плотности сердцевины Солнца.

Вот такой нейтринный телескоп для изучения Солнца и собрали американские ученые глубоко под землей. Полуторакилометровый слой породы отлично защищал прибор от космических лучей и содержащихся в них мешающих ученым мю-мезонов. И в то же время не создавал никаких помех для «разглядывания» Солнца с помощью нейтрино.

Р. Дэвис воспользовался методом, который в 1946 году предложил Б. Понтекорво для поисков тогда еще не открытого нейтрино. Нейтрино, сталкиваясь в этом «телескопе» с атомом хлора, превращают его в радиоактивное ядро атома аргона. А специальные физико-химические методы позволяют выловить даже несколько атомов аргона из большой массы жидкости. Все остальное очень просто. Число таких радиоактивных

атомов аргона, то есть число нейтринных «следов», нетрудно подсчитать обычным счетчиком элементарных частиц.

Какой же конец у этой истории? А конца у нее еще нет. Да и вообще это никакая не история, а одна из проблем сегодняшней физики элементарных частиц и астрофизики.

Летом 1972 года в Балатонфюреде, в Венгрии, состоялась Международная конференция физиков «Нейтрино-72». «Неудивительно, — рассказывал ее участник Б. Понтекорво, — что залы конференции все время были переполнены, несмотря на жару и близость прохладных вод озера Балатон. Среди участников были наиболее авторитетные специалисты по физике нейтрино из самых крупных лабораторий мира. Некоторые из докладов конференции вызвали что-то вроде сенсации, правда, с моей точки зрения, преждевременной».

Речь шла прежде всего о сообщении профессора Р. Дэвиса об отрицательных результатах попыток обнаружить солнечные нейтрино. Некоторые ученые готовы были объявить неправильным наше представление о термоядерном источнике энергии Солнца, а значит, и других звезд.

По мнению Б. Понтекорво, подобные «революционные» выводы преждевременны.

По-прежнему можно считать, что Солнце получает энергию в реакции соединения четырех протонов в ядро гелия. Но к этому конечному процессу ведут разные циклы ядерных реакций. Нейтринный телескоп Р. Дэвиса может регистрировать нейтрино только от небольшой части таких реакций.

Отрицательный результат может попросту означать, что на Солнце осуществляется другой цикл реакции и что его температура на 1—1,5 миллиона градусов ниже, чем предполагалось раньше.

Вот если солнечных нейтрино окажется еще в три или четыре раза меньше — это будет переворот в нашем представлении о работе Солнца. А сейчас можно предполагать, что нейтрино обладает еще неизвестными нам свойствами. Например, распадается, не успев долететь до телескопа, либо же по дороге от Солнца до Земли нейтрино самопроизвольно превращаются в антинейтрино, а прибор Р. Дэвиса на них не реагирует.

Нейтринное цунами

Солнце — звезда, дающая нам жизнь, тепло, свет. Солнцепоклонники выражали признательность этому постоянно действующему чуду, наделяя его титулом главного божества, будь то Ра египтян или славянский бог Ярило. Недаром они так пугались солнечных затмений и произносили благодарственные молитвы, когда светило, «потухшее» вечером, утром снова заливало светом землю.

По сути дела, только в начале нашего века, после открытия атомного ядра, возникло научное объяснение того, где черпают энергию Солнце и другие звезды. Человек на Земле пока еще не приручил этот вид энергии. Даже в самых лучших термоядерных установках типа «Токамак» водородная плазма не имеет достаточно высокой температуры и плотности.

Еще астрономы древности заметили происходящие со звездами изменения. В древних летописях и книгах сохранились заметки о необычных звездных явлениях, которые мы называем теперь вспышками новых и сверхновых звезд. Постепенно оформилась идея об эволюции звезд.

Когда водород вселенной собирался в достаточно плотные сгустки — зародыши будущих звезд, — начиналось сжатие и одновременное разогревание вещества. Весь «жизненный путь» звезды проходил при огромном давлении и температуре. В недрах громадных горячих звезд все время поддерживался «климат», благоприятный для реакций элементарных частиц.

Может быть, с их помощью ученые смогут узнать нечто важное о главных этапах эволюции звезд?

Энергия теплового излучения горячих звезд столь велика, что в ее глубине постоянно возникают пáры легких частиц — электронов и позитронов. Сталкиваясь, они аннигилируют, и опять возникают фотоны теплового излучения. Кажется, что эта игра, в которой фотоны и электрон-позитронные пáры, как мяч, перебрасывают друг другу энергию, может продолжаться бесконечно долго. Но нет. Как только температура звезды достигает сотен миллионов градусов, в ее жизни наступает перелом. Некоторые электрон-позитронные пáры превращаются уже не в фотоны, как раньше, а в пá-



ру нейтрино — антинейтрино, которые покидают звезду. Нарушая правила игры, нейтрино уносят с собой полученную от электронно - позитронных пар энергию. Никакими способами возвратить ее обратно звезда не может. Энергия эта потеряна навсегда.

Чем выше температура звезды, тем больше нейтрино она испускает. Нейтрино играют роль окна, распахнутого на улицу из жарко натопленной комнаты. А каждый знает, чтобы при открытом окне комната не остыла, в печь надо подкладывать все больше дров. Звезда все интенсивнее расходует свое термоядерное топливо.

Ученые предполагают, что в последние столетия своей жизни звезды в основном теряют энергию не в виде света, а в виде нейтрино. Наступает момент, когда энергетические запасы звезды оказываются «расхищенными», и ей уже нечем восполнить эту убыль: горючее звезды — водород — полностью «выгорело».

Но звезда не остывает. Она расходует гравитационную энергию своей массы. Начинается катастрофически быстрое сжатие звезды — кол-

лапс. В течение сотых долей секунды она выбрасывает огромное количество нейтрино. Значительно больше, чем их было выброшено за всю ее жизнь. Иногда во время коллапса от звезды отделяется небольшая часть ее вещества, которая с громадной скоростью расширяется. Тогда-то астрономы и наблюдают вспышку сверхновой — свечение этого облака. Вместе с тем есть звезды, которые коллапсируют «спокойно», обходясь без «фейерверка».

Если ученые сумеют обнаружить нейтринные вспышки от коллапсирующих звезд, то мы узнаем, что происходит с ними в тот момент, когда они кончают свое развитие.

Нейтринную волну от сверхновой, если она вспыхнет в центре нашей Галактики, можно зарегистрировать в счетчике, содержащем сотни тонн жидкости. Достаточно несколько таких счетчиков расположить в разных местах земного шара, и по последовательности зарегистрированных ими нейтринных сигналов станет ясно, откуда пришла нейтринная волна.

Вспышка сверхновой в нашей Галактике — довольно редкое явление: примерно одна вспышка за 300 лет. Но есть еще «тихие» коллапсы, и если предположение об их существовании верное, то нейтринное цунами должно обрушиваться на Землю почти раз в месяц!

А что произойдет, если направленный поток звездных нейтрино, несущихся со скоростью света, встретит какое-нибудь космическое тело? Масса покоя нейтрино равна нулю. Но, двигаясь со скоростью света, она приобретает инерционную массу, а вместе с ней и чувствительность к воздействию гравитационного поля.

Параллельный пучок света, падающий на оптическую линзу, фокусируется в некоторой точке. Точно так же гравитационное поле случайно встреченного космического тела сфокусирует нейтринный поток. Место, где появится нейтринное «изображение» звезды, зависит только от радиуса и плотности космического тела.

Солнце тоже может играть роль гравитационной линзы. Оно сфокусирует нейтринное изображение звезды на расстоянии ста миллиардов километров от своего центра, то есть на расстоянии в двадцать раз больше радиуса орбиты самой удаленной планеты солнечной системы — Плутона.

Линза-Земля, обращаясь вокруг Солнца, так же не-

прерывно фокусирует солнечные нейтрино. Нейтринное изображение Солнца вслед за движением Земли перемещается в пространстве на расстоянии в тысячу миллиардов километров от ее центра. Остается поставить там «пленку» и получить изображение звезды, увиденной «глазами» нейтрино.

К сожалению, пленки для такого космического «фотоаппарата» не существует, да и самого аппарата тоже. Но советский ученый И. Лапидес предполагает, что, используя фокусирующие свойства массивных космических тел, можно было бы «построить» нейтринный телескоп для поисков источников нейтринного излучения. Например, так.

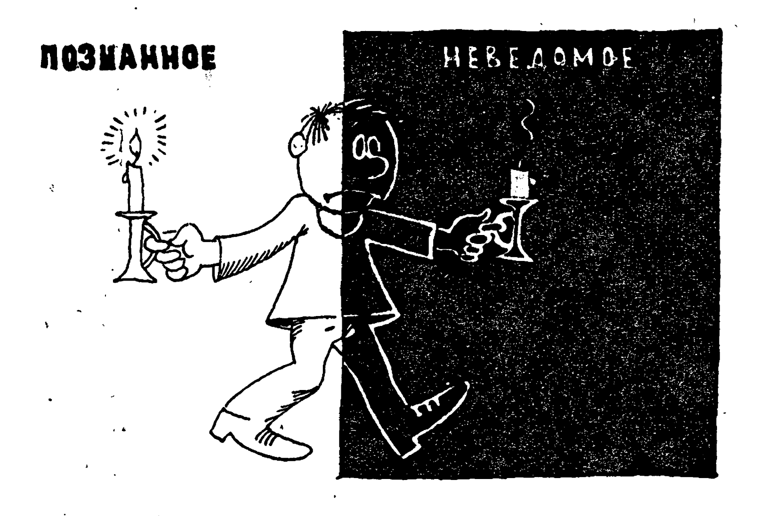
Большой космический корабль, на борту которого установлен хорошо защищенный от космических лучей нейтринный детектор, выведен на околосолнечную орбиту с радиусом, равным нейтринному фокусному расстоянию Солнца. При перемещении корабля по поверхности сферы такого радиуса его приборы будут прощупывать участки пространства, расположенные за Солнцем. Как только на линии, соединяющей космический корабль с центром Солнца, окажется звезда, испускающая нейтрино, детектор зарегистрирует резкое увеличение потока этих частиц.

Для такой цели подошел бы космический корабль, движимый взрывами водородных бомб, в проектировании которого участвовал Ф. Дайсон. Он считает, что корабль грузоподъемностью в десятки и сотни тысяч тонн — а именно такому под силу поднять нейтринный счетчик с защитой — можно построить уже сегодня, при современном уровне науки и техники. Однако стоимость корабля еще столь велика, что его постройка пока недоступна даже самым развитым странам.

Ровесники вселенной

Мы не знаем, что происходит на Солнце в этот миг. Только через восемь минут световые лучи, или солнечные нейтрино, сообщат, что Солнце работает нормально.

Последний сигнал от коллапсирующей где-то на краю Галактики звезды дойдет до нас через много тысяч лет мощным всплеском нейтринной волны или «судорогой»



гравитационного поля. Как ни долог путь этих вестников далеких событий, голос уже знакомой нам вселенной мы узнаем.

А какой она была миллиарды лет назад? Вот «вопрос вопросов» космологии, которая, по словам академика В. Гинзбурга, «принадлежит к числу тех очень немногих научных направлений (другим таким направлением является физика элементарных частиц), где мы сталкиваемся с глубочайшими принципиальными вопросами. Здесь проходит граница между светом знания и абсолютной темнотой неведомого».

В 1929 году Э. Хаббл обнаружил, что галактики разбегаются во все стороны с постоянной скоростью, как осколки взорвавшейся бомбы. Если мысленно прокрутить назад с такой же скоростью пленку вымышленного фильма, фиксирующего это явление, то окажется, что возраст вселенной от того момента, когда ее плотность была бесконечно велика, до современного состояния весьма почтенный — около 10 миллиардов лет. Но как складывалась «история» вселенной?

Археологические находки дают нам возможность составить представление о древнейших на Земле цивилизациях, узнать о событиях, происходивших около 30 тысяч лет назад. Палеонтология рассказывает о древнейших формах жизни, об эволюции органического мира, реконструируя ее по частям скелетов, окаменелостей и

отпечатков. Палеонтологи как будто совершают путешествие по времени назад «длиною» в миллиард лет.

Но о каких находках можно думать, когда речь идет о такой пропасти во времени, как десять миллиардов лет? Поэтому среди ученых начался умозрительный спор. Одним нравилась идея, которую в 40-х годах высказал известный физик-теоретик Г. Гамов о «горячей» модели эволюции вселенной. Он полагал, что если было время, когда ее плотность превышала тонну на кубический сантиметр, то очень высокой была и температура вещества. Другие поддерживали идею о «холодной» модели развития вселенной.

Спор долгое время был бесплодным — ни та, ни другая сторона не могла представить экспериментальных фактов. И вдруг нашлось доказательство, чрезвычайно усилившее позицию сторонников «горячей» модели.

Астрофизики 30 лет назад изучали оптические свойства молекул циана в межзвездном галактическом газе. При этом они обнаружили в космическом пространстве электромагнитное излучение с длиной волны 0,25 сантиметра. Радиоволны шли из космоса со всех сторон с интенсивностью, в сто тысяч раз превышающей мощность аналогичного излучения от всех известных небесных источников. Обнаружили, подивились, и... все. И никто, как ни странно, даже не попытался установить его происхождение.

В 1965 году сотрудники лаборатории Белл-телефон А. Пензиас и Р. Уилсон разрабатывали систему связи с помощью спутников на волне 7,3 сантиметра. Для нормальной работы аппаратуры надо было исследовать все помехи на этой длине волны. И когда, как им казалось, они ликвидировали все возможные радиошумы, исключительно точные приборы продолжали регистрировать очень интенсивное излучение, приходящее равномерно со всех сторон.

Так — уже во второй раз — было открыто тепловое реликтовое космическое излучение — свидетель давно прошедших лет.

Чего только не испытали эти радиоволны с тех давних пор! На пути к Земле они бесчисленное количество раз рассеивались на встречном веществе, все больше и больше забывая о своем первоначальном состоянии. Наконец, вместе с расширением вселенной они остыли до температуры 3° по Кельвину.

Но даже такие, с ослабленной «памятью», свидетели — ценная находка для ученых. Энергия каждого такого кванта теплового излучения в две тысячи раз меньше энергии квантов видимого света. Но их так много, что на каждый атом вселенной приходится около ста миллионов реликтовых квантов. И ученые имеют возможность ставить точные эксперименты для получения сведений о характере расширения вселенной.

Ну а нельзя ли узнать, что было еще раньше? Какой была вселенная в первые минуты и секунды своего бытия?

Уравнения механики и закон «охлаждения» квантов реликтового излучения дали возможность ученым совершить путешествие в такие глубины времени, куда не проникал даже самый ретивый герой фантастического романа.

Десять миллиардов лет назад вселенная совсем не походила на то, что мы сейчас подразумеваем под этим словом. Тогда еще не было ни звезд, ни галактик. Тогда существовала лишь сверхплотная раскаленная материя, состоявшая из отдельных элементарных частиц, смешанных с излучением.

При расширении вселенной температура этого излучения постепенно падала, и, наконец, настал момент, когда его влияние на вещество прекратилось. Предоставленное самому себе в космическом пространстве, реликтовое излучение «дожило» до наших дней.

Но это еще не все. В так называемую «лептонную эру», когда возраст вселенной исчислялся долями секунды, основную роль играли легкие частицы — лептоны (мюоны, электроны, нейтрино и антинейтрино). Но реакции с этими частицами быстро прекратились, и нейтрино стали свободными.

Сколько интересного могли бы сообщить эти «живые» ровесники совсем юной вселенной! Реликтовые нейтрино помогли бы ученым воссоздать образ только что рожденного мира. Свидетели эти обладают феноменальной «памятью» благодаря слабому взаимодействию с веществом. Если бы их удалось зарегистрировать, это позволило бы окончательно решить вопрос об условиях, царивших во вселенной в первые секунды и минуты ее существования.

«Поиски реликтовых нейтрино, какими бы сложными они ни оказались, — говорит академик Я. Зельдович, —

чрезвычайно важны для решения вопроса о самых ранних стадиях космологического расширения. Поистине измерение реликтовых нейтрино будет «экспериментом века».

Антимиры?

Когда появилось это слово? Достоверно известно, что поэт Андрей Вознесенский не был первым человеком, употребившим его. Однако благодаря ему мы имеем возможность прочесть слово «антимиры» в утвердительной интонации, огромными буквами напечатанное на афишах Московского театра на Таганке.

Но кто же все-таки сказал «А»? Обратите внимание на логический генезис этого слова: «античастицы — антивещество — антимир». Ясно, что «А» сказали физики, открывшие античастицы. Сначала позитрон, а потем антипротон и другие.

В Новосибирске ученые впервые получили «кусок» антиматерии — пучок позитронов, который существовал часами. «Это было уже нечто почти реальное и ощутимое не только для физиков, но и для любого человека. Пожалуйста, смотрите, вот он — свет античастиц!» — говорил директор Новосибирского института ядерной физики академик Г. Будкер.

Но античастицы — это еще не антивещество. Обычное вещество состоит из атомов, а атомы — из атомных ядер и электронов. Все компоненты антивещества — антипротоны, антинейтроны и позитроны — были обнаружены экспериментально. Но оставался открытым вопрос: могут ли ядерные силы «склеивать» античастицы в антиядра?

У теоретиков на этот счет не было никаких сомнений. Их уравнения говорили о том, что наряду с античастицами должны существовать и антиядра, состоящие из антипротонов и антинейтронов. Ничто не мешало вообразить антимир, в котором все химические элементы были бы антиэлементами и заполняли бы «антитаблицу» Д. Менделеева. А по богатству химических соединений этот мир ни в чем не уступал бы нашему.

На ускорителе с энергией в 30 мега-электрон-вольт в

Брукхейвене, в США, экспериментаторам удалось осуществить мечту теоретиков. Приборы зарегистрировали рождение антиядер дейтерия — тяжелого изотопа водорода. Антипротон и антинейтрон соединились в антиядро!

Следующий элемент в периодической таблице — гелий. А что, если античастицы не могут создавать ядер более тяжелых, чем дейтерий? Для выяснения этого вопроса необходим ускоритель с энергией в 70 мега-электрон-вольт.

Большая группа ученых под руководством члена-корреспондента АН СССР Ю. Прокошкина начала на Серпуховском ускорителе эксперимент поиска антиядер гелия. Проанализировав более 200 миллиардов частиц, экспериментаторы опознали среди них пять ядер антигелия.

Сложность решенной физиками задачи хорошо проиллюстрировал директор Института физики высоких энергий академик А. Логунов: «Если бы мы пожелали графически изобразить общее число пропущенных через установку частиц по отношению к зарегистрированным ядрам антигелия и представили бы на графике число ядер антигелия отрезком длиной в миллиметр, то число остальных частиц должно было изобразиться отрезком, равным длине земного экватора».

Открытие ядер антигелия подтверждает теорию существования антивещества. А наличие антивещества может иметь важнейшее значение для понимания эволюции вселенной и происходящих в ней процессов.

Частицы и античастицы при столкновении аннигилируют — «взрываются» с выделением огромной энергии. Из-за этой реакции антивещество не может существовать вместе с веществом. Поэтому гипотезу о существовании «антимиров» астрофизики использовали для объяснения обнаруженных во вселенной мощных источников излучения.

Элементарные частицы и излучение — вот общие предки всех звезд и галактик. И если пытаться решать проблемы космологии на основе знаний об элементарных частицах, добытых учеными с помощью ускорителей, то прежде всего надо вспомнить о законе сохранения барионного числа. Закон этот означает, что протоны и нейтроны всегда рождаются в паре со своими античастицами. Другими словами, вещество всегда рож-

дается в одной и той же точке пространства и в тех же количествах, что и антивещество. Поэтому вполне естественно было предположить, что и «первобытная» плазма состояла из одинакового числа частиц и античастиц.

Ученые давно уже убедились, что солнечная система состоит только из вещества. Более того, если б вещество и антивещество были перемешаны в пределах нашей Галактики, то приборы на Земле непрерывно регистрировали бы мощное аннигиляционное излучение. А оно отсутствует.

Есть ли все-таки антивещество во вселенной?

Ответы, которые можно услышать сегодня, диаметрально противоположны. «Антивещества нет, это предмет рассуждения увлеченных лириков», — говорят одни. Они считают, что вселенная в первые же мгновения своего бытия была уже несимметричной — вещества в ней было больше, чем антивещества.

«Антивещества во вселенной может быть столько же, сколько и вещества, — утверждают другие, — ведь не существует доказательства, что его нет».

Зададимся другим вопросом: если антивещество во вселенной есть, то где же оно? Почему оно никак не проявляет себя?

Известные шведские ученые Х. Альвен и Ф. Клейн считают, что вещество и антивещество разделились под действием электромагнитного поля на ранних стадиях развития вселенной. Поэтому, возможно, каждая вторая звезда или галактика состоит из антивещества.

«Почему-то легче поверить в то, — пишет в книге «Миры и антимиры» почетный член Академии наук СССР, профессор Х. Альвен, — что из антивещества состоит какая-нибудь удаленная галактика. Слишком уж неприятным было бы опасное соседство с антизвездой. Однако анализ приводит нас к противоположному выводу: значительно труднее обосновать разделение вещества в галактических масштабах, нежели в масштабах сравнительно небольших областей внутри каждой галактики».

Открытие реликтового теплового излучения доказало справедливость «горячей» модели развития вселенной. Но при этом вопрос об антивеществе оставался попрежнему очень трудным. Не было достаточно обоснованного механизма разделения двух видов вещества на самой ранней стадии.

А вот всего несколько лет назад французский ученый Р. Омнэ предложил оригинальную гипотезу разделения вещества и антивещества в рамках как раз «горячей» модели. Поведение протонов и антипротонов, хорошо изученное в лабораториях на ускорителях, подсказало ему идею механизма разделения, напоминающего образование капелек жидкости в перенасыщенном паре. Более того, окажись свойства этих частиц иными, разделение уже нельзя было бы объяснить.

За время, меньшее 10^{-5} секунды, из первичной однородной плазмы образуется нечто вроде «эмульсии» из отдельных участков пространства, заполненных частицами и античастицами. А дальше — как в теории Альвена и Клейна: одинаковые участки, сталкиваясь, сливаются, а противоположные по барионному заряду отталкиваются благодаря давлению аннигиляционного излучения. Так постепенно они расходятся на значительные в космических масштабах расстояния.

Теоретические споры между сторонниками зарядово-симметричной и асимметричной вселенной продолжаются. Но окончательное решение даст, конечно, эксперимент.

Отличается ли свет от звезды и от антизвезды? Как обнаружить различие между миром и антимиром? Не исключено, что перед глазами астрономов разворачивают свои спирали и «рукава» антигалактики, мерцают антизвезды. Но электромагнитное излучение вещества и антивещества «на глаз» совершенно одинаково и неразличимо. А проверено ли все это на опыте?

Пока нет. Но вот о чем мечтает академик Г. Будкер: «Мы хотим попробовать создать в лаборатории не просто античастицы, а антиатомы. Надеемся получить достаточно заметную струю антиводорода, способную, скажем, прожечь лист бумаги. Так что можно будет изучить свойства антиводорода, в частности, исследовать его спектр. Сейчас астрофизики спорят, есть ли во вселенной антигалактики, равноправны ли материя и антиматерия? Может быть, наши эксперименты станут «судьей» в этом споре».

В принципе этот спор можно решить с помощью нейтрино. Звезда из антивещества или антигалактика вместо нейтрино должны излучать потоки антинейтрино. Вполне вероятно, что они достигают и поверхности Земли. Однако нейтринная астрономия здесь бессильна по-



мочь. Даже от самых ярких звезд типа Сириуса на Землю попадает всего лишь одно нейтрино или антинейтрино на квадратный сантиметр в секунду.

Более реальна попытка обнаружить антивещество во вселенной, исследуя космические лучи, возникающие за пределами солнечной системы. Можно считать, что отдельные античастицы могут возникать при столкновении космических частиц большой энергии с межзвездным газом. Но вероятность образования сложных антиядер практически равна нулю. Если они будут все же обнаружены, то тем самым будет установлен факт существования далеких антимиров, откуда и прилетают готовые антиядра.

Пока что ни антипротонов, ни антиядер в космических лучах не обнаружено. Но точность экспериментов все время повышается, и, возможно, настанет время, когда ученые смогут расшифровать содержащуюся в космических лучах информацию об антивеществе во вселенной.

Академик Б. Константинов в 60-х годах высказал гипотезу, что если антимиры существуют, то

до Земли должны долетать достаточно большие тела из антивещества.

Астрономы знают, что далеко не все кометы и метеоры движутся по эллиптическим орбитам и, так сказать, «приписаны» к солнечной системе. Некоторые из них попадают к нам из очень далеких областей Галактики. А потом либо сгорают в атмосфере Земли, либо навсегда исчезают в космических просторах. Нет ли среди них посланцев антимиров?

Всем хорошо известна история Тунгусского метеорита. Он взорвался в 1908 году в районе Подкаменной Тунгуски на высоте 5—10 километров над поверхностью земли. Сила взрыва была огромна — около 10^{24} эрг. Существует много версий этого события, вплоть до романтической гипотезы о взрыве космического корабля с пришельцами из внеземной цивилизации.

Но есть другое, более естественное, более вероятное и не менее увлекательное предположение. Может быть, Тунгусский метеорит — кусок антивещества, случайно залетевший в атмосферу Земли?

Взрыв, аналогичный взрыву атомной или водородной бомбы в атмосфере, требует специальных условий, создать которые может только разумное существо. Для аннигиляционного же взрыва необходимо только наличие самого антивещества.

При таком взрыве в атмосфере должно увеличиться количество ядер радиоактивного углерода. Засвидетельствовать это могут только поглощающие углерод деревья — современники Тунгусского метеорита. К сожалению, пока что при исследовании на радиоактивность годовых слоев старых деревьев, относящихся к 1909 году, замечено лишь однопроцентное превышение изотопа углерода-14 по сравнению со средним его количеством за сорок лет. А эта цифра находится в пределах точности измерений.

Полученные результаты не доказали гипотезы об антиметеорите, но и не опровергли ее окончательно. Вопрос, как говорят ученые, остается открытым.

Луна, которая стала теперь непосредственным объектом экспериментальных исследований советских и американских ученых, может быть, тоже поможет нам в решении проблемы наличия вещества и антивещества в природе. У нашего спутника нет атмосферы, и если антиметеориты когда-нибудь падали на его поверхность,

то при аннигиляции они должны были оставить радиоактивные пятна с повышенным содержанием такого долгоживущего элемента, как алюминий-26.

Внимание академика Б. Константинова особенно привлекали кометы — необычные космические тела, которые при небольшом размере, в пределах десяти километров, имеют длинный хвост, тянущийся на сотни километров. Обычно это объясняется тем, что комета состоит из ледяных глыб. А может быть, некоторые кометы — это не что иное, как антиастероиды, попавшие в солнечную систему из антимира?

Такое предположение породило еще один метод поиска антивещества. Кометы заканчивают свое существование, превращаясь в метеорные потоки. Но при встрече метеоров из антивещества с атмосферой Земли должна происходить их аннигиляция — должны возникать гамма-кванты с определенной энергией.

Группа ученых Ленинградского физико-технического института под руководством профессора М. Бредова уже несколько лет занимается экспериментальным исследованием проблемы симметрии вещества и антивещества в природе. С помощью радиолокационного метода они регистрируют момент вхождения метеора в атмосферу, а по другим приборам одновременно наблюдают, не увеличилась ли интенсивность излучения, типичного для аннигиляции.

За четыре года были исследованы все основные метеорные потоки. Результаты оказались обнадеживающими. Вхождение метеоров в атмосферу сопровождалось усилением специфического излучения.

Были проведены и другие опыты. На искусственном спутнике Земли поместили приборы для регистрации гамма-квантов строго определенной энергии, возникающих при встрече электронов и позитронов. Было зафиксировано, что число гамма-квантов меняется в зависимости от метеорной активности.

Увеличение интенсивности излучения, обнаруженное двумя разными методиками, по-видимому, можно считать доказанным достаточно надежно.

«Вопрос о симметрии вселенной, — говорил профессор М. Бредов, — приобрел сейчас остроту не только в плане теоретической дискуссии, но и в чисто экспериментальном плане, поскольку факты будто бы свидетельствуют в пользу нашей гипотезы. Но мы не рискуем

сказать решительное «да» там, где пока многое не ясно. А трудностей еще очень много. Проблема остродискуссионна, и, быть может, именно поэтому она крайне интересна».

Космические перекрестки

Звездный мир, который наблюдали астрономы прошлого сквозь узенькое окошко видимого света, представлялся раз и навсегда установленным и застывшим. Жизнь космоса чрезвычайно редко нарушалась только вспышками сверхновых.

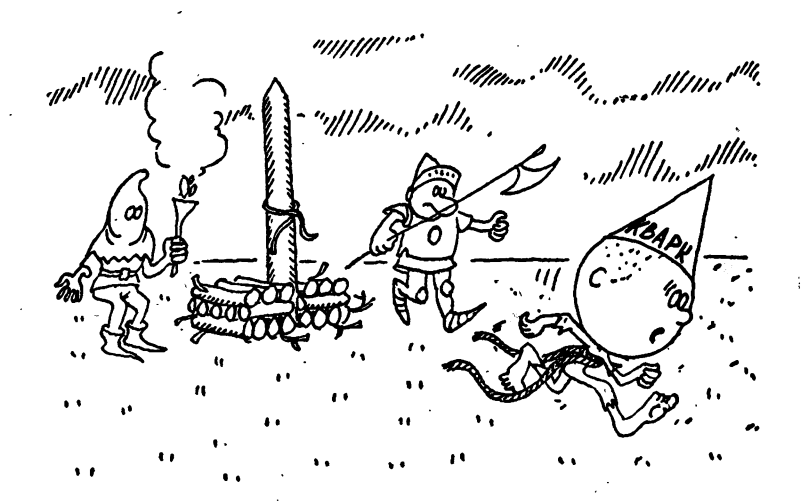
Теперь радиоволны, рентгеновское излучение, инфракрасные лучи, гамма-кванты показали нам совершенно иную вселенную. Статические картины ожили. Астрофизики непрерывно видят увлекательный фильм о бурной жизни метагалактики.

События разворачиваются стремительно даже в нашем, земном понимании масштабов времени. Если вспышка сверхновой длится около ста дней, то период излучения самого быстрого пульсара всего лишь 0,033 секунды! Звезды раскаляются, остывают, уплотняются, выбрасывая в космическое пространство россыпи элементарных частиц. Рождаются звездные ассоциации, рассеивают гигантскую энергию квазары и взрывные звезды.

«Говорят, что и все мирозданье — еще не оконченный, длящийся взрыв», — пишет поэт Л. Мартынов в стихотворении «Гармония сфер».

Изучая глубины материи, физики обнаружили мир элементарных частиц, на сверхплотную и раскаленную смесь которых, как утверждает «горячая» модель, была так похожа юная вселенная. А нельзя ли теперь с помощью этой модели разрешить некоторые проблемы физики элементарных частиц?

Придумали теоретики кварки, а экспериментаторы найти их не могут. Для симметрии уравнений Максвелла и квантовой электродинамики так не хватает монополей Дирака, но до сих пор никто их не видел. Охотники за кварками и те, кто отправился в погоню за магнитными монополями, вернулись с пустыми руками. Ни в космических лучах, ни на дне океанов, ни в горных породах их не оказалось. Почему?



Конечно, можно ответить: потому что ни кварков, ни монополей не существует. Ну а если все-таки существуют? Можно ли хоть приблизительно сказать, сколько их в природе? Например, кварков?

Советские физики-теоретики Я. Зельдович, Л. Окунь и С. Пикельнер попытались проследить судьбу свободных, реликтовых кварков как реально существующих частиц, исходя из «горячей» модели вселенной.

Вначале, когда температура излучения была очень велика, рождались пáры любых частиц, в том числе и кварков. Но огромная плотность вещества «сжимала» их время жизни до ничтожных мгновений. Едва родившись, они тут же аннигилировали друг с другом — исчезали, превращаясь в излучение.

Как одни из самых тяжелых частиц, кварки, по-видимому, первыми ощутили изменение климата вселенной. Температура вселенной понизилась, и возникли условия, подобные условиям на современных ускорителях, когда для рождения кварков уже не хватало энергии. Вселенная расширялась, плотность ее вещества уменьшалась. Кваркам и антикваркам все труднее было находить друг друга, и процессы аннигиляции прекратились.

Кварки, спасшиеся от «выгорания», могли «дожить» до наших дней. Однако число их зависело от истории развития ближайшей к нам области вселенной. Если это

были очень горячие области, то процессы аннигиляции могли уничтожить значительное количество кварков. Это обстоятельство делает ответ несколько неопределенным. Но вывод о том, что в природе может существовать только 10^{-10}—10^{-13} кварка на каждый нуклон, дал возможность облегченно вздохнуть «охотникам» за этими экзотическими частицами.

А что может сказать теория эволюции вселенной о существовании в природе монополей Дирака?

Ученые в рамках «горячей» модели вселенной оценили возможную концентрацию «реликтовых» магнитных зарядов. Как и в случае с кварками, в какой-то момент эволюции вселенной аннигиляции монополей и антимонополей прекратились из-за недостаточной плотности этих частиц. Какой же части этих частиц суждено было дожить и до наших дней? Ответ неутешительный: 10^{-13} частицы на квадратный сантиметр в секунду. Нелегко обнаружить частицы, присутствующие в природе в таком ничтожном количестве. Этим выводом космология внесла некоторое успокоение в души физиков-экспериментаторов, оправдав полученный ими отрицательный результат.

Последние достижения космологии совсем в ином свете представляют нам жизнь вселенной. Пресловутая космическая «пустота» уступает место ощущению тесноты. Четыреста реликтовых тепловых квантов приходится на объем в один кубический сантиметр!

На неведомых нам космических перекрестках потоки элементарных частиц, выброшенных звездами, наверняка встречаются с «вечными странниками» — реликтовыми тепловыми квантами и нейтрино, заполняющими космические просторы. Уж не из-за «трения» ли между космическими частицами и реликтовыми квантами максимальная энергия космических лучей, достигающих атмосферы Земли, не превышает 10^{19}—10^{20} электрон-вольт?

«Проблемы большой вселенной теснейшим образом переплетаются с задачами теории элементарных частиц, — говорил академик В. Амбарцумян. — Как ведут себя частицы сверхвысоких энергий, проходя через разреженное межзвездное вещество и космические магнитные поля? Имеются ли античастицы в космических лучах, и каково их количество? Какой род элементарных частиц является основным носителем той огромной энер-

гии, которая сосредоточена в радиогалактиках и постепенно излучается в виде радиоволн? Естественно, что многие астрофизики связывают возможность теоретического решения проблемы происхождения звезд и галактик с будущими успехами физики элементарных частиц».

Маленькая вселенная

В конце XVI века была впервые поставлена задача построения единой картины мира. Иоган Кеплер пытался объединить в понятии «вселенная» две, как казалось в то время, не пересекающиеся области земного и небесного.

И вот взволнованная реакция лирика, современника И. Кеплера, английского поэта Джона Донна:

Из параллелей и меридианов
Сеть человек соткал и эту сеть набросил
На небеса, и ныне — они в его владенье.

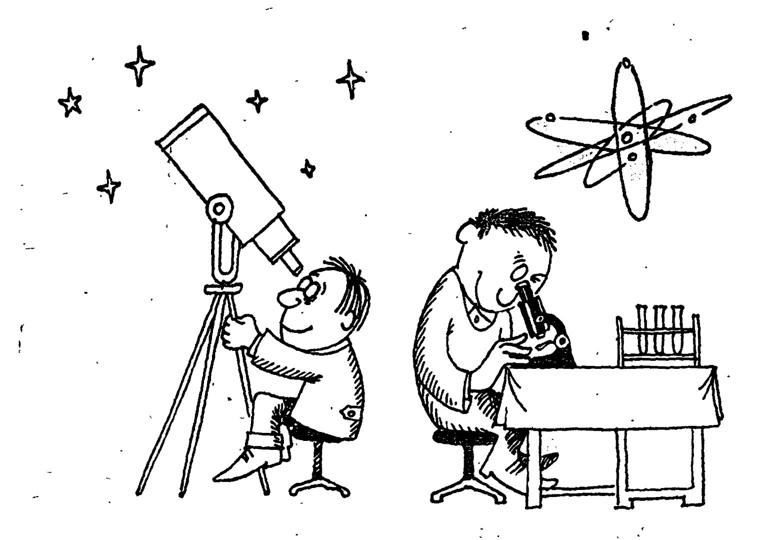
Так он писал в 1611 году в поэме «Анатомия мира».

Много воды утекло с тех пор. Много перемен произошло в мире. Армия ученых-естествоиспытателей давно разделилась на отдельные подразделения. Одни все глубже уходили в исследование структуры материи, другие стремились проникнуть в тайны космоса. Казалось, что они идут в противоположные стороны и что связь между структурой пространства, которое изучено уже на расстояниях в 10^{-15} сантиметра, и процессами, происходящими в пределах видимой вселенной, удаленной на 10^{28} сантиметров, становится менее заметной.

На самом же деле идея материального единства мира сейчас отчетливее, чем когда бы то ни было в прошлом, объединяет наше понимание сверхбольшого и сверхмалого. Все представления о большом космосе опираются на те же принципы, которым подчиняются законы микромира.

«Как ни замечательны последние астрономические открытия, они еще не вывели нас за пределы известных физических представлений и законов», — пишет академик В. Гинзбург.

Чего же ждут физики-элементарщики от астрофизиков и астрономов?



Сегодня сумма всех знаний, накопленных о микромире, не может осветить той темноты неведомого, что скрывает от нас первые мгновения существования вселенной. Известные нам законы природы уже не работают при плотности, большей 10^{93} г/см^3. Но, может быть, именно в этих «начальных условиях», царивших во вселенной, и прячутся тайны новых, еще неизвестных взаимодействий, действующих в мире элементарных частиц?

«В таком случае, — говорил Ф. Дайсон, — мы не можем ожидать никакого окончательного прояснения в физике элементарных частиц, пока путем наблюдений не будет найден ответ на большие и еще совершенно открытые вопросы космологии».

Слабые взаимодействия элементарных частиц свергли принципы зарядовой и пространственной симметрии. А не связано ли это нарушение с асимметрией макромира? Или, может быть, с отсутствием антивещества во вселенной? И опять ответ скрывается, по-видимому, в «начальных условиях» жизни вселенной. Отсюда же начинала свой непрерывный полет и «стрела времени», которую сейчас пытаются обнаружить в микромире.

А проблемы гравитации? Физика элементарных частиц вплотную подошла к необходимости учитывать роль гравитационного взаимодействия при создании теории элементарных частиц. В последние годы академик М. Марков разрабатывает модель элементарных частиц,

структура которых определяется гравитационным взаимодействием огромных объектов космических масштабов. В память советского физика-теоретика А. Фридмана, открывшего новые следствия для космологии в теории относительности, М. Марков назвал сконструированную им модель элементарной частицы фридмоном. Теория фридмонов Маркова — первая попытка создания протяженной модели элементарной частицы не на основе квантовой механики, а в рамках космологического подхода.

«Теория фридмонов, — пишет академик М. Марков, — позволяет рассматривать вселенные как элементарные частицы и элементарные частицы как вселенные, которые при внешней тождественности могут иметь и разнообразнейшие внутренние структуры».

Кажется, что эти строчки взяты из научно-фантастического произведения, а не из статьи всемирно известного ученого.

«Сама возможность такого объединения противоположных свойств, — пишет далее М. Марков, — свойств ультрабольшого и ультрамалого объема, представляется не менее удивительной, чем объединение в одном объекте свойств корпускулы и волны».

Теория М. Маркова дает очень интересную возможность для развития нашего мировоззрения о строении материи.

Что нас ждет в этом плане, например, в квантовой единой теории поля, которую сейчас развивает В. Гайзенберг? Последняя сущность всей материи — «праматерия», представляется им в виде некоторого единого поля. «В результате завершения моей теории, — пишет В. Гайзенберг, — физика будет вести исследования уже не вглубь, а вширь».

А что дает другой подход к строению материи, связанный с развитием традиционного понятия «состоит из...»?

Появление идеи о том, что пи-мезоны могут состоять из нуклонов и антинуклонов, а нуклоны из кварков, то есть идея о том, что элементарные частицы могут состоять из других, гораздо более тяжелых, по словам академика М. Маркова, «можно расценивать как самое яркое и заметное событие за всю тысячелетнюю историю существования понятий о веществе».

Но можно ли отождествлять кварковую форму ма-

терии с первоматерией? Или нужно считать, что кварки, в свою очередь, состоят из более тяжелых частиц? Но тогда «самая элементарная» частица будет иметь бесконечную массу?

«Современная физика, — пишет М. Марков, — дает возможность совершенно по-новому трактовать содержание понятия «состоит из...». Вселенная в целом может оказаться микроскопической частицей. Микроскопическая частица может содержать в себе целую вселенную. Элементарная частица может состоять из огромного числа частиц, вообще говоря, всех родов частиц. В такой концепции нет первоматерии, и иерархия бесконечно разнообразных форм материи как бы замыкается на себя».

Гипотеза М. Маркова — яркое подтверждение мысли выдающегося советского ученого С. Вавилова, который предполагал, что если свойства элементарной частицы многое объясняют в поведении мира в целом, то, с другой стороны, по общим правилам диалектики мы вправе ожидать, что свойства самих элементарных частиц определяются свойствами мира в целом.

Может быть, «в самых глубинах микромира работают те же силы, которые обеспечивают строение вселенной? — пишет профессор Я. Смородинский. — Эволюция вселенной, в частности, связана с ядерными реакциями, а ее кривизна, быть может, обусловлена потоками нейтрино. Трудно понять взаимосвязи в мире элементарных частиц. Но все больше укрепляется уверенность, что в этом мире нет лишних частиц, что в конце концов величина заряда электрона как-то связана с постоянной закона тяготения, определяющего движения миров, а странное поведение каонов какими-то неведомыми пока нитями связано с рождением галактик.

Так начало книги природы переплетается с ее концом. И ничто не оказывается в ней лишним».

СОДЕРЖАНИЕ

УТРАЧЕННЫЕ ИЛЛЮЗИИ

ВЕЛИКИЕ НАДЕЖДЫ

БОЛЬШАЯ НАУКА

ПЛОДЫ И КОРНИ

МАЛЕНЬКАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Черногорова В. А.

Ч49 Загадки микромира. М., «Молодая гвардия», 1973.

224 с. с ил. (Эврика). 100 000 экз. 52 к.

В мире элементарных частиц сейчас сложилось примерно такое же положение, какое было в мире химических элементов перед открытием Д. Менделеевым периодической системы. Положение тревожное и таинственное, потому что непонятно, откуда берутся элементарные частицы, непонятно, почему их так много.

Об этом и о том, что у них общего и чем они отличаются друг от друга рассказывается в книге В. Черногоровой.

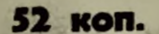
$Ч \frac{.062}{078(02)-73}$ 119—73 530.4

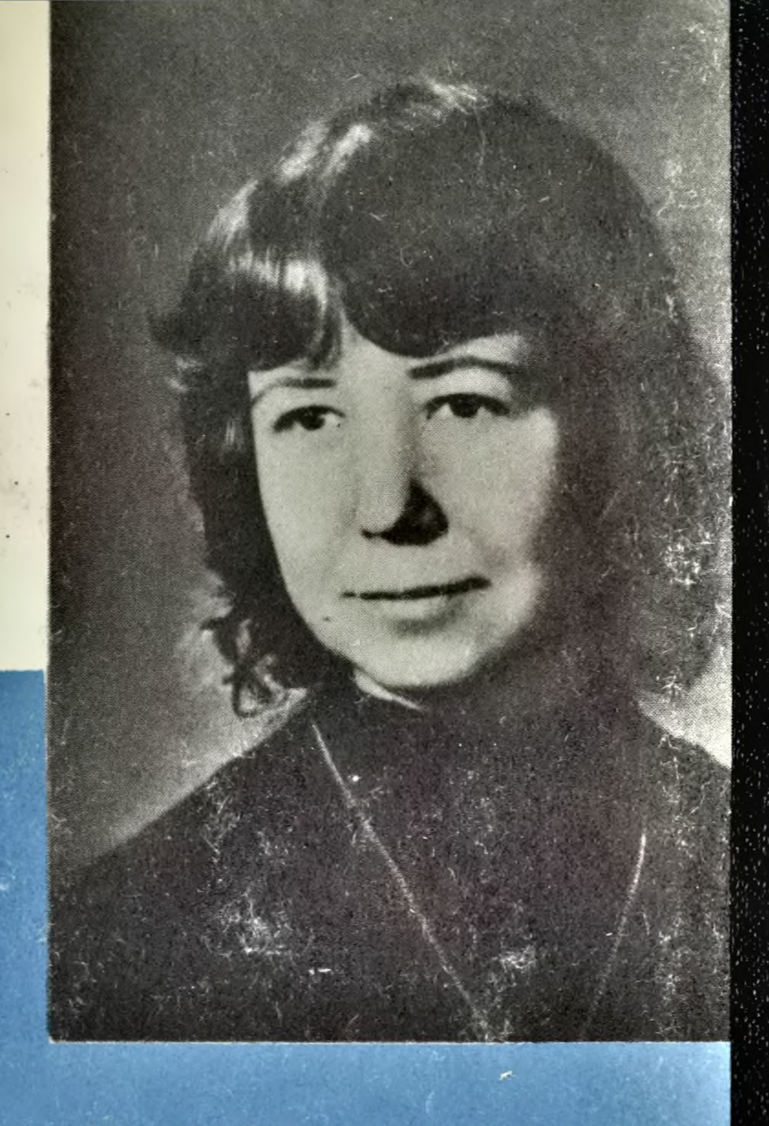
Черногорова Вера Александровна

ЗАГАДКИ МИКРОМИРА

Редактор **В. Федченко**
Художник **К. Мошкин**
Художественный редактор **Б. Федотов**
Технический редактор **Е. Михалева**
Корректоры **Т. Пескова, З. Харитонова**

Сдано в набор 23/III 1973 г. Подписано к печати 7/IX 1973 г. А03076. Формат 84×108 1/32. Бумага № 2. Печ. л. 7 (усл. 11,76). Уч.-изд. л. 11,7. Тираж 100 000 экз. Цена 52 коп. Т. П. 1973 г., № 119. Зак. 588.
Типография изд-ва ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Адрес издательства и типографии: Москва, А-30, Сущевская, 21.


52 коп.



МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ

ВЕРА АЛЕКСАНДРОВНА ЧЕРНОГОРОВА

Вера Александровна после окончания физико-математического факультета университета поступает в аспирантуру, а затем становится научным сотрудником Объединенного института ядерных исследований в городе Дубне.

Почти двенадцать лет она участвовала в экспериментах на ускорителе элементарных частиц — синхроциклотроне. Вера Александровна — соавтор многих научных работ по исследованию свойств мю-мезонов.

В последние годы ею опубликовано более десяти статей в журналах «Знание — сила», «Наука и жизнь», «Техника — молодежи» и других. Тема этих статей — проблемы ядерной физики, физика высоких энергий, астрофизика, управляемый термоядерный синтез, применение достижений науки в практике людей, будущее науки. Многие из этих статей перепечатаны в иностранных журналах.

«Загадки микромира» — ее первая книга, в которой она знакомит читателей с некоторыми актуальными проблемами физики элементарных частиц.

МОСКВА. 1973